



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

DISEÑO DE UNA LUMINARIA LED



Volumen I Memoria técnica

Autor:	Iciar Del Río Abril
Director:	Eduard Calduch i Pros
Ponente:	Daniel Saurina Martínez
Convocatoria:	Septiembre de 2017

Resumen

Este trabajo está enfocado al proceso de diseño y la fabricación de una luminaria LED para uso en ambientes de exterior. La realización de este proyecto se realiza en Vecxa Lighting S.L. en su totalidad.

Básicamente el proyecto está enfocado a la parte de diseño de la luminaria realizado mediante un software de diseño 3D, se incluyen las simulaciones necesarias para garantizar la resistencia de la baliza frente a la acción del viento u otras fuerzas que puedan producirse en su uso normal. También se introducen conceptos teóricos sobre iluminación y tecnología LED, necesarios para comprender otros conceptos fundamentales explicados posteriormente durante el desarrollo del producto.

Una vez realizado el diseño se pasa a la fase de fabricación y evaluación del prototipo, dónde se valida el diseño realizado y se mejoran los puntos débiles del producto, siempre pensando en su funcionalidad y en la optimización de los costes asociados a su fabricación.

Finalmente, después de un proceso iterativo de diseño y validación, se lanza el producto para competir en el mercado ofreciendo las mejores prestaciones en cuanto a calidad, funcionalidad y precio, requisitos claves de Vecxa Lighting.

Las conclusiones de este proyecto se verán afectadas por los resultados obtenidos durante la fase de validación del prototipo.

Resum

Aquest treball està enfocat al procés de disseny i la fabricació d'una lluminària LED per utilitzar en ambients d'exterior. La realització d'aquest projecte es realitza a Vecxa Lighting S.L en la seva totalitat.

Bàsicament, el projecte comprèn la part de disseny de la lluminària realitzat mitjançant un software de disseny 3D, s'inclouen les simulacions necessàries per assegurar la resistència de la balisa front l'acció del vent o altres forces que puguin produir-se dins del seu funcionament en condicions normals. També s'introdueixen conceptes teòrics sobre il·luminació i tecnologia LED, necessaris per comprendre altres conceptes fonamentals explicats durant el desenvolupament del producte.

Un cop realitzat el disseny passarem a la fase de fabricació i avaluació del prototip, on es validarà el disseny realitzat i es milloraran les possibles debilitats del producte, sempre pensant en la seva funcionalitat i en l'optimització dels costos associats a la seva fabricació.

Finalment, després d'un procés iteratiu de disseny i validació del prototip, es realitza la sortida del producte al mercat per competir oferint les millors prestacions en quant a qualitat, funcionalitat i preu, requisits clau dins de Vecxa Lighting.

Les conclusions d'aquest treball es veuran afectades pels resultats obtinguts durant la fase de validació del prototip.

Abstract

This project is focused on the designing and the manufacturing process of a LED luminaire to use in outdoor environments. The realization of this project is realized in Vecxa Lighting S.L. in its whole.

Basically the project comprises the design part of the luminaire made using a 3D design software, the necessary simulations are applied to guarantee the resistance of our luminaire against the action of the wind or other forces that are produced in its normal use. Also theoretical concepts of lighting and LED technology are introduced to understand other fundamental concepts explained during the development of the product explained in this report.

Once the design is done we will go to the manufacturing and evaluation stage of the prototype, where we validate the design and improve the possible weaknesses of the product, always thinking about its functionality and optimizing the costs associated with its manufacture.

Finally, after an iterative process of design and validation of the prototype, the product will be launched to compete in the market offering the best benefits in terms of quality, functionality and price, key requirements of Vecxa Lighting.

The conclusions of this work will be affected by the results obtained during the validation phase of the prototype.



Agradecimientos

Para poder llevar a cabo este proyecto he necesitado la ayuda de varias personas sin las que todo esto no habría sido posible, por este motivo me gustaría mencionarles ya que merecen ser partícipes de todo esto.

En primer lugar quiero agradecer la implicación de la empresa Vecxa Lighting, concretamente a mis mentores Oscar Cebrià Soriano y Daniel Saurina Martínez, por todos los conocimientos adquiridos durante este año y medio trabajando junto a ellos y la disponibilidad completa que ofrecen siempre a la hora de resolver cualquier duda además de proporcionarme los medios necesarios para el desarrollo de este proyecto.

En segundo lugar quiero agradecerle a mi tutor, Eduard Calduch i Pros, por haberme guiado y ayudado durante todo este periodo, ofreciendo sus conocimientos y sobre todo por sus consejos los cuales tendré muy presentes, además de la disposición ofrecida en todo momento.

Agradecer también a todas las personas que se han cruzado en mi camino durante mi paso por la universidad, desde amigos, compañeros pero sobre todo a los profesores que tanto se implican en su labor de formarnos como profesionales y hacernos aprender no sólo los conocimientos técnicos necesarios sino también formarnos como persona.

Por último solo me queda agradecer el apoyo incondicional y la confianza que siempre he tenido por parte de mi familia, sobre todo a mis padres sin los que nada de esto habría sido posible, por todos los esfuerzos que han hecho por mí, por haberme ofrecido la mejor educación posible y por los valores que me han inculcado. A todos ellos, siempre estaré agradecida.



ÍNDICE

RESUMEN	I
RESUM	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	V
1. PREFACIO	11
1.2. Origen del trabajo	11
1.3. Motivación	11
1.4. Requerimientos previos	12
2. INTRODUCCIÓN	12
2.1. Objetivo del trabajo	12
2.2. Alcance del trabajo	12
3. LA LUZ, EL LED Y LA ILUMINACIÓN	13
3.1. La luz	13
3.1.1. Naturaleza de la luz	13
3.1.2. Espectro electromagnético	16
3.1.3. El cuerpo negro	18
3.1.4. Propiedades de la luz	18
3.1.5. Interacción luz y materia	21
3.2. Iluminación	21
3.2.1. Definiciones	22
3.2.2. Magnitudes fotométricas	23
3.2.3. Magnitudes colorimétricas	28
3.2.4. Tipología de lámparas	30
3.2.5. Iluminación tradicional vs. iluminación LED	34
3.3. El LED	37
3.3.1. Física del led	39
3.3.2. Parámetros más influyentes en el LED	46
3.3.3. Tipologías de led	50
3.3.4. Obtención de luz blanca	51
4. DISEÑO DE LA LUMINARIA	53
4.1. Requisitos del cliente	55

4.2.	Estudio de mercado	56
4.2.1.	Competidores.....	56
4.2.2.	Sus productos.....	60
4.2.3.	Análisis del estudio.....	71
4.2.4.	Conclusiones del estudio	76
4.3.	Especificaciones técnicas.....	77
4.4.	Estética del producto	79
5.	DESARROLLO DEL PRODUCTO	80
5.1.	Parte mecánica	80
5.1.1.	Subconjunto 1: carcasa	81
5.1.2.	Subconjunto 2: difusor.....	88
5.1.3.	Subconjunto 3: soporte	93
5.1.4.	Subconjunto 4: base.....	98
5.1.5.	Subconjunto 5: anclaje.....	104
5.2.	Parte lumínica	108
5.2.1.	Modulo lineal vs. Tira de LED.....	108
5.2.2.	La tira de LED.....	109
5.2.3.	Fuente de luz empleada.....	113
5.3.	Parte eléctrica y electrónica	124
5.3.1.	Fuente de alimentación	124
5.3.2.	Selección del driver	134
5.3.3.	Cableado	143
5.4.	Componentes.....	149
5.4.1.	Subconjunto 3: soporte	149
5.4.2.	Subconjunto 4: base.....	157
5.4.3.	Subconjunto 5: anclaje.....	159
5.4.4.	Uniones entre subconjuntos.....	159
5.5.	Puntos críticos luminaria	162
5.5.1.	Gestión térmica.....	162
5.5.2.	Estanqueidad	176
5.5.3.	Resistencia.....	180
6.	PRODUCTO DESARROLLADO	200
6.1.	Sistema de referencia	200
6.2.	Características.....	201
6.3.	Ensayos	203

6.4.	Escandallo.....	205
6.5.	Diagrama operaciones	209
6.6.	Montaje	212
6.6.1.	Procedimiento de montaje	212
6.6.2.	Optimización del montaje	227
6.7.	Mejoras	230
7.	DIRECTIVAS Y REGLAMENTOS	232
8.	NORMATIVA	234
9.	ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	235
9.1.	Impacto fabricación parte mecánica	236
9.1.1.	Optimización de materiales y tasa de aprovechamiento	238
9.2.	Problemas derivados de la utilización en condiciones normales	239
10.	PLANIFICACIÓN	240
11.	CONCLUSIONES	242
12.	BIBLIOGRAFIA	243

1. PREFACIO

El presente proyecto trata sobre el diseño de una luminaria LED para uso exterior. El proyecto consta de tres partes diferenciadas, la primera parte es una introducción hacia conceptos más específicos relacionados con el ámbito de la iluminación y de la tecnología LED, una base de conocimientos necesarios para desarrollar un producto competente.

Seguidamente se entra en la parte de diseño y desarrollo del producto, ésta incluye un estudio previo de las necesidades del cliente y del mercado, el desarrollo total del producto y la parte de simulación necesaria para garantizar la fiabilidad en un funcionamiento en condiciones normales.

La tercera y última parte estudia el producto acabado, desde sus características funcionales, la gestión del producto mediante un sistema ERP, el flujo de materiales, su proceso de montaje y su impacto ambiental, hasta las futuras mejoras en cuanto al diseño y optimización de los procesos de fabricación.

1.2. Origen del trabajo

El origen de este trabajo parte de la entrada de un nuevo proyecto para Vecxa Lighting dónde el cliente pide diseñar un nuevo producto acorde con unos requerimientos impuestos en cuanto a necesidades lumínicas y estéticas.

1.3. Motivación

El hecho de estar trabajando durante año y medio en Vecxa Lighting me lleva a pensar que la mejor manera de aprovechar tanto los conocimientos adquiridos en la empresa como los adquiridos en la universidad es realizando el desarrollo completo de un producto, además de formarme en el sector donde trabajo.

Hasta ahora mi función había sido la de diseñar productos con unas pautas dadas, productos relativamente simples utilizados en ambientes interiores. Por lo tanto, pasar a realizar esta luminaria, más compleja por el hecho de sus dimensiones y de trabajar en condiciones expuestas a la intemperie, me ha permitido dar un paso más tanto en mis conocimientos ingenieriles como en mi carrera laboral, viendo todo el trabajo que hay detrás del desarrollo completo de un producto.

1.4. Requerimientos previos

En cuanto a los requerimientos necesarios para la realización del proyecto se han necesitado nociones básicas relacionadas con la iluminación, procesos de fabricación y materiales. Además he necesitado adquirir nociones más avanzadas de diseño 3D como el moldeo de chapa metálica y el manejo de complementos incluidos en el software de CAD como la simulación de fluidos, la simulación estática, gestión de costes y operaciones, gestión del impacto ambiental y renderizados.

2. INTRODUCCIÓN

Como ya se ha explicado el objetivo principal de este trabajo es el de desarrollar una luminaria con unos requerimientos fijados por el cliente, además este será el punto de partida para la creación de una nueva familia de luminarias de diseño para uso exterior.

2.1. Objetivo del trabajo

El objetivo del trabajo es conseguir el diseño óptimo de nuestra luminaria teniendo en cuenta las posibilidades y las limitaciones de la empresa. Con este diseño se elaborará un prototipo y se realizarán los ensayos pertinentes para cumplir con la normativa actual.

2.2. Alcance del trabajo

El trabajo incluye la fase completa de un primer diseño para la baliza, ésta se subdivide en dos modelos dimensionales diferentes (modelo 400 y 600). En Vecxa lo que se busca es ofrecer posibilidades en cuanto a la conexión de red (AC y DC) a pesar de que la luminaria aquí desarrollada corresponde al modelo de conexión a AC.

Por otro lado se citan todos los ensayos necesarios a realizar pero no se llevan a cabo por cuestión de tiempo y porque a fecha de entrega del trabajo aún no se tiene un prototipo físico por lo que la evaluación del prototipo se da por validada para poder seguir adelante con otros puntos importantes a la hora de desarrollar un producto.

3. LA LUZ, EL LED Y LA ILUMINACIÓN

Con este capítulo lo que se busca es introducir al lector dentro del ámbito de la iluminación para que éste tenga unos conocimientos básicos sobre la luz y la tecnología LED así luego, cuando llegue la parte del desarrollo del producto, se tenga el conocimiento suficiente y poder entender los conceptos explicados.

Es básico tener una base y entender el porqué de las cosas, de esta manera si no se entiende o se recuerda algún concepto durante el desarrollo del proyecto siempre se puede recurrir a la teoría aquí explicada. El capítulo se divide en tres ramas principales, primero se introduce el concepto de luz, función principal de nuestra luminaria. Seguidamente se explicará la base científica del funcionamiento del LED, tecnología empleada en nuestro producto.

Para acabar se definirán los conceptos lumínicos básicos utilizados en el ámbito de proyectos lumínicos, bien es cierto que en este proyecto no se llega al punto de aplicación de la luminaria en un ambiente determinado pero sí que, en algún momento, se puede mencionar alguno de los conceptos aquí explicados, todos ellos aplicados al LED.

3.1. La luz

3.1.1. Naturaleza de la luz

Se utiliza la teoría dualidad onda-partícula para definir el concepto de luz. Esta teoría se basa en la doble naturaleza de la luz ya que, depende de cómo la observemos se puede manifestar como onda o como partícula, siendo dos estados que se complementan. A continuación se explicará más detalladamente cada una de estas teorías, la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular, para posteriormente entender la teoría dual y así comprender el fenómeno de la luz.

3.1.1.1. Teoría ondulatoria

La teoría ondulatoria explica cómo se propaga la luz mediante un comportamiento ondulatorio. La luz es una forma de energía, concretamente son radiaciones electromagnéticas capaces de excitar la retina del ojo humano.

Una onda electromagnética es el producto de un campo magnético y uno eléctrico, son perpendiculares entre sí y, a la vez, son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Un campo eléctrico variable en el tiempo genera un campo magnético (ley de Ampère) y un campo

magnético variable genera, a su vez, un campo eléctrico (ley de Faraday), así es como la onda se autopropaga a través del espacio, generando campos eléctricos y magnéticos continuamente.

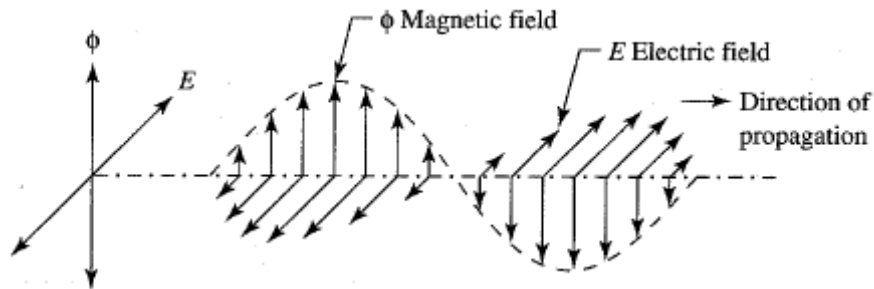


Figura 3.1. Propagación de una onda electromagnética (Fuente: Referencia A9.01)

Para definir mejor el concepto de onda electromagnética se utilizan los parámetros característicos de las ondas, son los siguientes:

- Amplitud (A)*: máxima distancia que hay entre la onda y la posición de reposo.
- Periodo (T)*: tiempo que tarda un punto cualquiera en realizar una oscilación, se mide en segundos.
- Frecuencia (f)*: cantidad de periodos por unidad de tiempo o inversa del periodo, se mide en hercios.
- Longitud de onda (λ)*: distancia lineal entre dos picos o dos valles consecutivos, se mide en metros.
- Velocidad de propagación (c)*: depende del medio por donde se propaga, se define como la distancia que recorre una onda en un tiempo determinado.

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

La energía y la cantidad de movimiento de una onda electromagnética están relacionadas por la expresión:

$$E = p \cdot c \quad (\text{Ec. 3.2})$$

3.1.1.2. Teoría corpuscular

La teoría corpuscular explica la interacción luz y materia, en ella se define la luz como un conjunto de partículas materiales llamadas fotones, capaces de transportar todas las formas de radiación electromagnéticas.

Esta teoría explica cómo la luz se propaga en línea recta en todas direcciones, al chocar con nuestros ojos produce sensación luminosa debido a que los corpúsculos que la forman se mueven a gran velocidad.

También explica los fenómenos de la reflexión y refracción. Los corpúsculos se reflejan ya que éstos chocan elásticamente contra la superficie de separación entre dos medios y se refractan porque la luz cambia de velocidad en medios de distinta densidad.

Se llega a la conclusión de que la energía del fotón viene cuantizada por la siguiente fórmula:

$$E_{\text{fotón}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde:

h : constante de Plank, $h=6.623 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

f : frecuencia en Hz

3.1.1.3. Dualidad onda-partícula

Juntando las dos teorías anteriores se llega a la conclusión de que la luz se comporta como onda y como partícula. Su comportamiento como partícula le permite localizarse, dispersarse, intercambiar energía y obedece las leyes de conservación de la energía y del momento lineal en los choques. Cuando se comporta como onda presenta interferencia y difracción, dispersando su energía continuamente en el espacio y en el tiempo.

En resumen la luz se propaga como una onda e intercambia energía como una partícula. Es por eso que se atribuye a toda partícula con impulso (p), una onda asociada y viceversa.

Igualando (3.2) y (3.3), y aislando λ se obtiene:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = p \cdot c \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{p \cdot c} = \frac{h}{p} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Así, el hecho de que un fotón tenga masa y cantidad de movimiento (propiedades corpusculares), pero también una longitud de onda (propiedad ondulatoria), supone que en una colisión con otro fotón, predomine el comportamiento corpuscular, pero si un haz de fotones se difracta, predominará su comportamiento ondulatorio.

3.1.2. Espectro electromagnético

Dado que las radiaciones electromagnéticas son de la misma naturaleza y se propagan en el vacío a la misma velocidad ($3 \cdot 10^8$ m/s), la característica que las diferencia es la longitud de onda, o lo que es lo mismo, su frecuencia de emisión.

El espectro electromagnético se clasifica en diferentes subgrupos según su longitud de onda o frecuencia, estos son los Rayos Gamma, Rayos X, Radiación Ultravioleta, Luz visible, Rayos Infrarrojos, Microondas, Ondas de Radio y otras radiaciones. En la figura 3.2 se muestra esta clasificación y se ven los rangos energéticos correspondientes a cada uno de los tipos de radiación electromagnética.

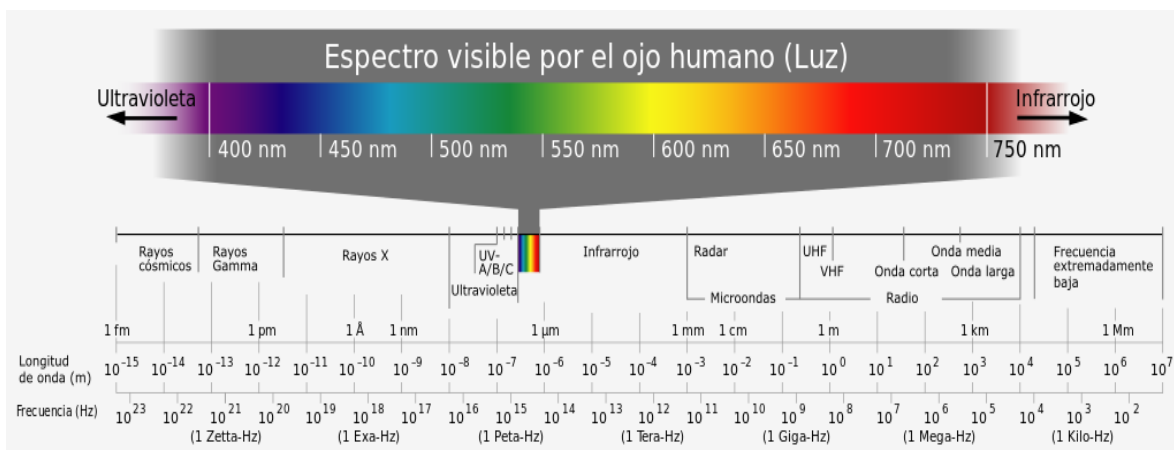


Figura 3.2. Clasificación radiaciones electromagnéticas (Fuente: libro Paul A. Tipler)

Pero lo que realmente nos interesa en relación a la luz es el grupo de la luz visible, este grupo es el que nosotros percibimos ya que el ojo humano es sensible a las radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nm aproximadamente.

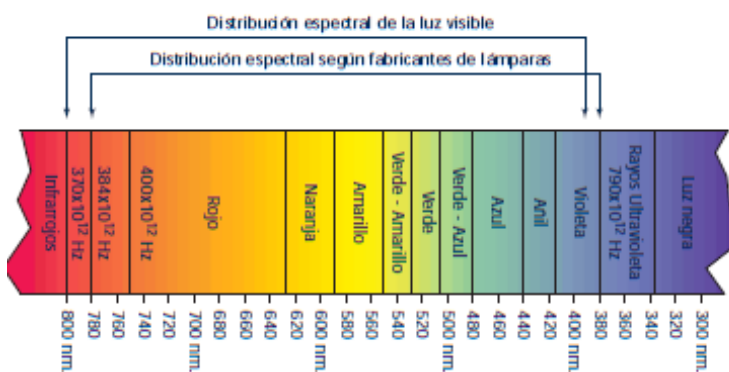


Figura 3.3. Espectro de luz visible (Fuente: libro Física II edebé)

3.1.2.1. Espectro luminoso

Los espectros luminosos se pueden clasificar en continuos (también llamado térmico o de cuerpo negro) y en discontinuo (o de rayas), según la variedad de longitudes de onda que emita una determinada fuente luminosa.

Un espectro es continuo cuando contiene una gama continua de longitudes de onda, esto se explica mediante el ejemplo de la descomposición de la luz blanca con la ayuda de un prisma, se observa un abanico de colores, pasando de un color a otro sin interrupción. Este espectro se atribuye a la agitación térmica de los átomos.

En general los gases, líquidos y sólidos densos sometidos a altas temperaturas y altas presiones emiten un espectro continuo de luz, están relacionados con la emisión del cuerpo negro el cual se explicará en el próximo punto. Los espectros continuos casi no aportan información sobre la composición química de las sustancias.

Por otro lado están los espectros discontinuos, también llamado de rayas o de líneas, es un tipo de radiación integrada por pequeños intervalos limitados de longitud de onda llamados picos de emisión. Los colores y posiciones de las líneas en el espectro son característicos de los átomos del elemento químico característico del foco emisor.

Este tipo de espectro se debe a las modificaciones producidas en el equilibrio de los electrones que rodean el núcleo del átomo, por eso se dice que es de origen atómico.

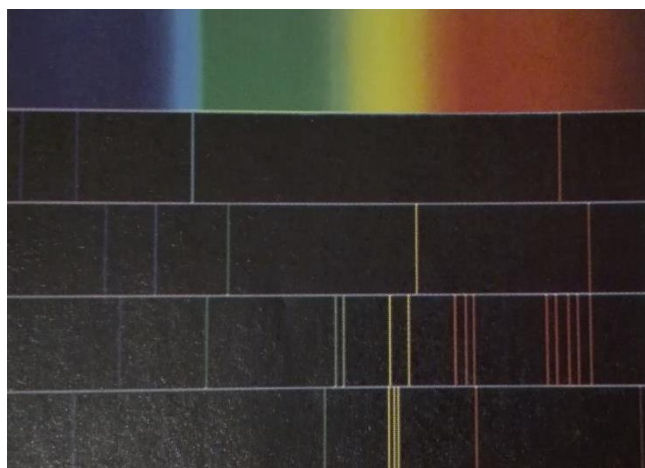


Figura 3.4. Espectro luminoso continuo (arriba), espectro de rayas del hidrogeno, helio, bario y mercurio respectivamente (Fuente: libro Física II edebé)

3.1.3. El cuerpo negro

Un cuerpo negro es un sistema físico idealizado para el estudio de las radiaciones electromagnéticas, entre otros fenómenos.

El cuerpo negro absorbe toda la energía radiante incidente sobre él y tiene un rendimiento del 100% en absorción, nada se refleja. A su vez, el cuerpo negro emite radiación en función de la temperatura a la que está expuesto, siendo la frecuencia de estas radiaciones proporcional a la temperatura.

La energía radiante de un cuerpo negro a baja temperatura es escasa y corresponde a longitudes de onda de menor frecuencia, cuando se incrementa la temperatura, aumenta la energía emitida y a su vez, la frecuencia de emisión.

Esta energía radiante o irradiancia se puede determinar mediante la fórmula de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma \cdot T^4 = 5,6703 \cdot 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}) \cdot T (K)^4 \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Otro de los parámetros característicos del cuerpo negro es la longitud de onda dónde la irradiancia es máxima para una temperatura determinada. Dicho de una forma más simple, es la longitud de onda en la cual se emite la mayor parte de la energía y viene caracterizada por la fórmula de Wien:

$$\lambda_{max} (nm) = \frac{2.8978 \cdot 10^{-3}}{T (K)} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

3.1.4. Propiedades de la luz

Se ha visto como estudiando la naturaleza de la luz esta se propaga en línea recta, se refleja cuando llega a una superficie reflectante o cambia de dirección al pasar de un medio a otro. Estos comportamientos suceden cuando la luz incide sobre una superficie y, dependiendo de las propiedades del material de dicha superficie, aparecen fenómenos como el de la reflexión, la refracción (o transmisión) y la absorción.

3.1.4.1. Reflexión

La luz incide sobre la superficie de manera que el rayo incidente se refleja total o parcialmente, generando ondas nuevas que se alejan del cuerpo. Este fenómeno es el responsable de un buen rendimiento en las luminarias ya que, mediante la utilización de reflectores se permite una conducción precisa del haz y un aprovechamiento mayor de la luz.

El índice de reflexión o reflectividad (R) nos da una idea del rendimiento reflectante de una superficie:

$$R = \frac{\text{flujo reflejado}}{\text{flujo incidente}} = \frac{\phi_r}{\phi_i} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

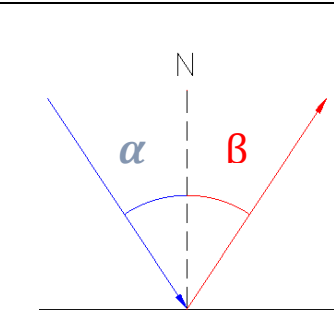
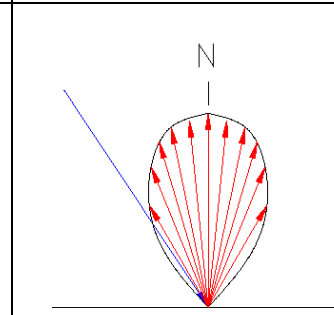
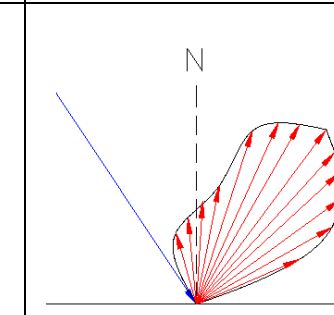
ESPECULAR	DIFUSA	MIXTA
		
<p>También conocida como reflexión total donde el ángulo incidente y el de reflexión son iguales ($\alpha = \beta$). Tiene lugar en superficies brillantes y pulidas.</p>	<p>Conocido como dispersión. La reflexión se produce en varias direcciones, siendo el de mayor intensidad normal a la superficie. Se da en superficies mate o con rugosidades.</p>	<p>Mezcla de las dos anteriores donde hay una componente direccional predominante y una pequeña difusión debido a algunas rugosidades.</p>

Figura 3.5. Clasificación del flujo según su reflexión (Fuente: propia)

3.1.4.2. Refracción

El cambio de dirección del rayo incidente al pasar de un medio a otro se denomina refracción y produce una diferencia de velocidad del haz luminoso. El índice de refracción es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad en el medio (v):

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

El ángulo incidente (θ_1) y el de refracción (θ_2) se relacionan mediante la siguiente fórmula:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

3.1.4.3. Absorción

Es la capacidad que tiene un material para absorber total o parcialmente las radiaciones incidentes y las convierte en otra forma de energía, normalmente en calor, cosa que produce una disminución en el rendimiento de la luminaria. El índice de absorción o absorptividad viene dado por:

$$A = \frac{\text{flujo absorbido}}{\text{flujo incidente}} = \frac{\phi_a}{\phi_i} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

3.1.4.4. Transmisión

La transmisión sucede cuando la luz atraviesa una superficie, también es conocida como doble refracción ya que al atravesar el material se modifica su trayectoria. El índice de transmisión o transmisibilidad viene dado por:

$$T = \frac{\text{flujo transmitido}}{\text{flujo incidente}} = \frac{\phi_t}{\phi_i} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Los tres tipos de transmisión son:

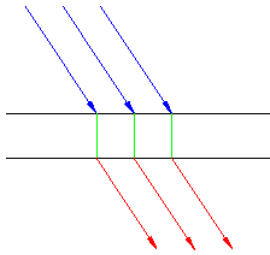
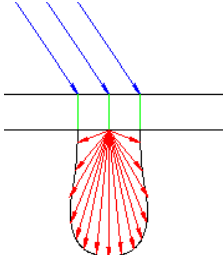
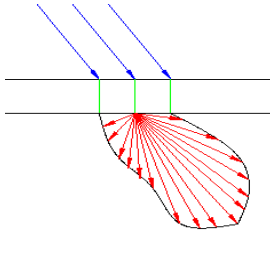
REGULAR	DIFUSA	MIXTA
		
Al atravesar la superficie no se modifica su trayectoria, sus propiedades se mantienen constantes. Típico en superficies transparentes.	Al atravesar la superficie la luz se desvía en varias direcciones, la intensidad de salida de los rayos es menor que el incidente. Propio de superficies transparentes con rugosidades o semitransparentes.	Mezcla de las dos anteriores donde hay una componente direccional predominante y una pequeña difusión debido a algunas rugosidades.

Figura 3.6. Clasificación del flujo según su transmisión (Fuente: propia)

3.1.5. Interacción luz y materia

Se vio que cuando la luz pasa de un medio a otro se producen diferentes situaciones: la luz se transmite a través del medio (I_T), la luz es reflejada (I_R) o la luz es absorbida (I_A), transformándose en calor.

$$\text{Intensidad incidente } (I_0) = I_T + I_R + I_A \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Cada una de las propiedades explicadas anteriormente se relacionan mediante la fórmula 3.13 y cada uno de los coeficientes son parámetros característicos del material. Por lo tanto se tiene:

$$R + T + A = 1 \quad (\text{Ec. 3.13})$$

TABLA 3.1: Coeficientes de reflexión, absorción y transmisión de diferentes materiales

MATERIAL	R	A	T
Vidrio	0.03	0.07	0.89
PC	0.05	0.08	0.87
PC Difuso	0.15	0.1	0.75
Oro	0.93	0.07	-
Plata	0.98	0.02	-
Cobre	0.95	0.05	-
Acero pulido	0.65	0.35	-
Aluminio mate	0.57	0.43	-
Aluminio pulido	0.88	0.12	-
Aluminio espejo	0.94	0.08	-

3.2. Iluminación

La luminotecnica es la ciencia que estudia los fenómenos luminosos artificiales, desde la producción de luz, su control y sus aplicaciones. Se puede encontrar una luz más técnica, enfocada a unos requerimientos según las exigencias del puesto de trabajo o zona a iluminar pero también existe una iluminación más enfocada al ámbito arquitectónico o decorativo.

En esta sección se hará una breve introducción de los conceptos y las magnitudes fotométricas y colorimétricas básicas para entender otros conceptos utilizados a la hora de diseñar nuestra luminaria, todo ello aplicado a la tecnología LED. También se explicarán los diferentes tipos de lámparas existentes hoy en día y se hará una comparación con la tecnología led.

3.2.1. Definiciones

-Lámpara: Dispositivo que produce luz transformando la energía química o eléctrica en energía lumínica.

-Luminaria: Aparato de alumbrado que distribuye, filtra o transforma la luz proporcionada por una o varias lámparas y comprende todos los dispositivos y piezas necesarias para el soporte, la fijación y la protección de las lámparas además de los medios de conexión a la red de alimentación.

-Lente: Elemento óptico transparente utilizado para controlar la geometría del flujo luminoso utilizando las propiedades de refracción y transmisión de los materiales que la componen.

-Difusor: Elemento óptico que se utiliza para difuminar o esparcir la luz que incide sobre él, siguiendo un patrón lambertiano. Pueden trabajar por reflexión o por transmisión, los difusores que trabajan por reflexión se utilizan para incrementar el rendimiento óptico de una luminaria minimizando las pérdidas por absorción debido a las reflexiones internas. Los difusores que trabajan por refracción y difracción se utilizan para homogeneizar la luz y crear grandes superficies luminosas que mejoran el confort visual.

-Reflector: Elemento óptico que se utiliza para aprovechar al máximo la luz emitida por una fuente lumínica aprovechando las propiedades reflectivas de un material. Además también se emplea para controlar la geometría del haz de luz y mejorar el confort visual.

-Driver: Dispositivo electrónico que tiene la función de adaptar la tensión de alimentación proveniente de la red eléctrica a las necesidades requeridas por la fuente de luz led.

-Vida útil: La vida útil es el tiempo estimado de vida de la fuente de luz en condiciones óptimas. Es importante distinguir entre la vida promedio o tiempo de vida y la vida útil de la fuente de luz, ésta indica el número de horas de funcionamiento continuo que se garantiza para un porcentaje mínimo de su flujo lumínico original, debido a la degradación que sufre la fuente de luz led por razones de uso. Las nomenclaturas más habituales para indicar la vida útil de la fuente son L70B10 o L70B50, indicando que para un determinado número de horas de funcionamiento, un 10% (L70B10) o un 50% (L70B50) de los productos van a mantener su flujo original como mínimo en el 70%.

3.2.2. Magnitudes fotométricas

Como ya se ha explicado las fuentes de luz emiten energía en forma de ondas electromagnéticas y éstas se cuantifican mediante las magnitudes radiométricas. Cuando lo que nos interesa es cuantificar solamente las radiaciones sensibles por el ojo humano se utilizan las llamadas magnitudes fotométricas.

Estas magnitudes se obtienen mediante factores de peso que corresponden a la sensibilidad espectral relativa al sistema visual humano, basada en la diferente percepción de la claridad para cada longitud de onda de la región visible. Por este motivo se han logrado acuerdos internacionales entre distintos países a través de la CIE o Comisión Internacional de la Iluminación, en estos acuerdos se adoptan dos curvas de sensibilidad espectral relativa $V(\lambda)$, una para niveles de iluminación altos (condiciones fotópicas) y otra para niveles bajos (condiciones escotópicas). A continuación se muestran estas dos curvas que está relacionadas con el sistema fotoreceptor humano, el de los conos y los bastones que operan en condiciones fotópicas y escotópicas respectivamente.

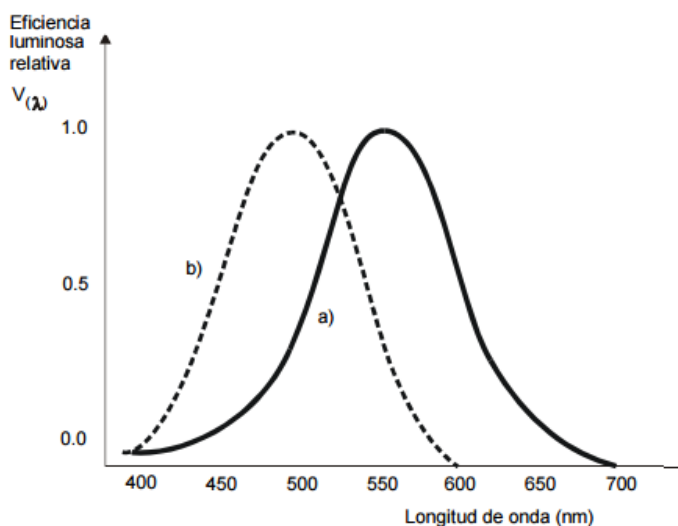


Figura 3.7. Curvas de sensibilidad a) condiciones fotópicas b) condiciones escotópicas (Fuente: Referencia A9.2)

A continuación se definen las magnitudes fotométricas esenciales.

3.2.2.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso (Φ) es el flujo de luz o potencia luminosa emitida en todas direcciones por una fuente de luz o luminaria durante una unidad de tiempo, su unidad de medida es el lumen (lm). Depende básicamente de la fuente de luz aunque otros factores como los reflectores y difusores influyen en la mejora del flujo luminoso emitido finalmente por la luminaria ya que hay que

diferenciar entre el flujo real emitido (flujo radiado) por la fuente de luz y el flujo que finalmente se emitirá a través de la luminaria.

El cálculo del flujo luminoso se determina a través de la suma ponderada de la potencia para cada longitud de onda del espectro visible emitida por la fuente de luz:

$$\Phi = K_m \cdot \int_{\lambda_{visible}} \Phi(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Dónde:

$\Phi(\lambda)$: flujo radiante o cantidad de energía emitida por unidad de tiempo (W) de un punto luminoso

$V(\lambda)$: función de sensibilidad luminosa

K_m : constante con valor $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ para condiciones fotópicas y $1699 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ para condiciones escotópicas.

3.2.2.2. Intensidad luminosa:

La intensidad luminosa (I) es el flujo luminoso que se emite en una dirección dada por unidad de tiempo y su unidad de medida son las candelas (cd). Esta dirección se mide mediante un ángulo sólido y la cantidad de luz contenida dentro de este ángulo es la llamada intensidad luminosa. La intensidad se calcula:

$$I = \frac{d\Phi}{dW} = K \cdot \int_{visible} I(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Dónde W corresponde al ángulo sólido

3.2.2.3. Iluminancia

La iluminancia (E) es el flujo luminoso que incide sobre una superficie, dicho de otro modo, es la iluminación que produce un lumen cuando incide sobre una superficie de 1 m^2 , su unidad de medida es el lux.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (\text{Ec. 3.16})$$

La iluminancia que produce una fuente de luz cuando incide perpendicularmente sobre uno o más planos es directamente proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el plano y la fuente de luz (d), esto es lo que se conoce como la ley de la inversa del cuadrado de la distancia:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

Pero cuando la dirección de la luz forma un ángulo determinado con la superficie sobre la que incide, la iluminancia se calcula multiplicando por el coseno del ángulo de incidencia (ley del coseno), además se puede descomponer en iluminancia horizontal y vertical, a continuación se muestran las fórmulas de cálculo:

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha \quad (\text{Ec. 3.18})$$

$$E_h = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (\text{Ec. 3.19})$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2} \quad (\text{Ec. 3.20})$$

Dónde:

E_h : iluminancia horizontal

E_v : iluminancia vertical

h : distancia más corta del foco de luz al plano receptor

3.2.2.4. Luminancia

La luminancia (L) es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada, es decir la luz que percibimos indirectamente a través de la reflexión o la transmisión de ésta en otros cuerpos u objetos en una dirección de observación determinada y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$L_\beta = \frac{I_\beta}{S \cdot \cos \beta} \left[\frac{cd}{m^2} \right] \quad (\text{Ec. 3.21})$$

Dónde:

L_β : luminancia en una dirección dada

I_β : intensidad en una dirección dada

S : superficie

En superficies emisoras o difusoras no importa el ángulo desde el que se observa ya que siempre se da una igual sensación de luminosidad, esto se describe mediante la ley de Lambert:

$$I_{\beta} = I_0 \cdot \cos \beta \quad (\text{Ec. 3.22})$$

Dónde I_0 es la intensidad en dirección normal al foco luminoso

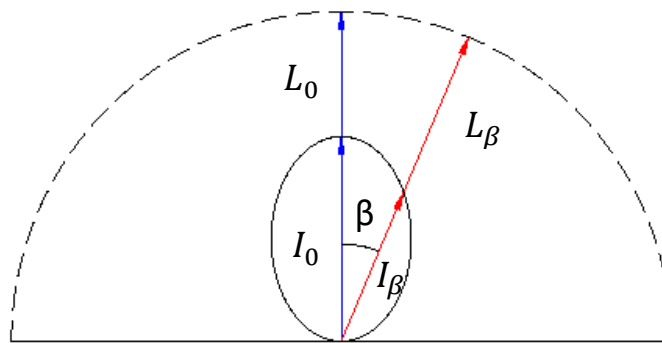


Figura 3.8. Curva de distribución lambertiana y parámetros de cálculo para luminancia (Fuente: propia)

3.2.2.5. Índice de deslumbramiento unificado (UGR)

El deslumbramiento es la pérdida o la disminución de la capacidad visual debido al exceso de luminancia o brillos. Por lo tanto el índice de deslumbramiento es un parámetro para describir la valoración del confort visual, es importante controlarlo ya que puede ocasionar daños en los ojos además de producir un efecto muy molesto. Cuanto mayor es el deslumbramiento más alto es su valor y es conveniente mantenerlo en niveles entre el 10 y el 30% como máximo.

3.2.2.6. Eficacia luminosa (lm/W)

La eficacia es el rendimiento de la lámpara o luminaria y es la relación entre el flujo luminoso entregado (en lúmenes) y la potencia consumida (en vatios). La eficacia luminosa de una luminaria led depende de varios factores como la temperatura de color, la temperatura de trabajo y el valor de la corriente aplicada.

$$\eta = \frac{\Phi \text{ (lm)}}{P \text{ (W)}} \quad (\text{Ec. 3.23})$$

Cuando se habla de potencia consumida es la potencia que necesita el driver para funcionar, la potencia que éste proporciona será la potencia útil o la potencia convertida en luz visible. Pero no

toda la energía se transforma en luz sino que también tiene unas pérdidas por calor y por radiaciones invisibles.

3.2.2.7. Eficiencia óptica (%)

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por la luminaria y el flujo proporcionado por la fuente de luz:

$$\eta_{luminaria} = \frac{\Phi_{emitido\ luminaria}}{\Phi_{emitido\ lámpara}} \quad (\text{Ec. 3.24})$$

3.2.2.8. Curva fotométrica

Las curvas fotométricas son representaciones gráficas en dos dimensiones de la forma o distribución de la luz emitida por una luminaria en el espacio, es habitual realizar un corte de la proyección luminosa por el plano longitudinal (C90) pero también se puede encontrar el corte en el plano transversal (C0).

En estas curvas lo que se representa es la distribución de la intensidad luminosa en función de las coordenadas polares, con centro en la luminaria donde la intensidad es cero y dónde e la intensidad máxima se encuentra en el punto más alejado del centro. Su cálculo se realiza en laboratorios especializados mediante ensayos y normalmente están referidas a un flujo de 1000 lm por lo que la intensidad real será:

$$I_{real} = \Phi \cdot \frac{I_{gráfico}}{1000} \quad (\text{Ec. 3.25})$$

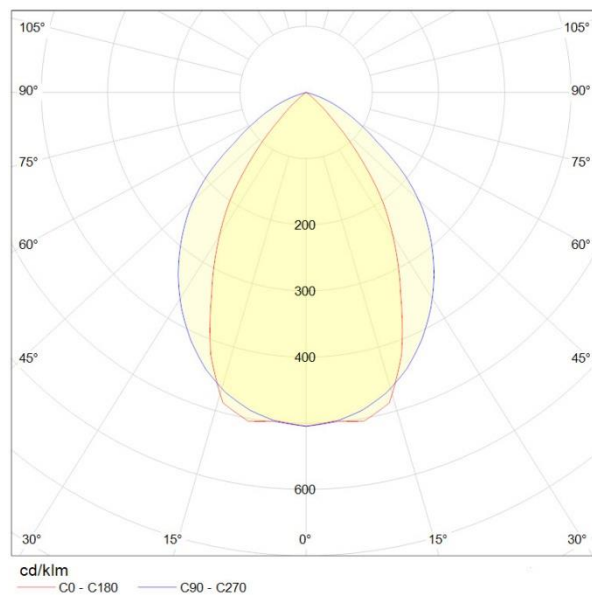


Figura 3.9. Curva fotométrica producto Fornax (Fuente: propia)

3.2.3. Magnitudes colorimétricas

Las cantidades fotométricas descritas anteriormente no tienen en cuenta la distribución espectral de la luz o el color. Si predominan longitudes de ondas largas del espectro visible se verá una luz más rojiza, si predominan longitudes de onda medias habrá una luz más amarillenta o verdosa y si predominan longitudes de onda bajas se verá una luz azul. Una combinación de todas las longitudes de onda con una proporción similar formará una luz blanca.

3.2.3.1. Temperatura de color correlacionada (TTC)

Es el color de la luz que emite un cuerpo negro (fuente de luz ideal) cuando se calienta a una determinada temperatura, en grados Kelvin (K). Solo es aplicable a la luz blanca y según su apariencia se puede clasificar en cálida, fría o neutra. Al revés que la escala de temperatura las lámparas con TTC por debajo de los 3200K son fuentes cálidas, si están por encima de 4500 K son fuentes frías y si se encuentran entre estos dos valores se habla de temperaturas neutras.

3.2.3.2. Índice de reproducción cromática (IRC)

El IRC es la medida de la capacidad que tiene una fuente de luz para reproducir fielmente los diferentes colores en comparación con una fuente de luz natural. En una escala del 1 al 10, cuanto mayor es el número de IRC mejor se reproduce el color.

TABLA 3.2: Clasificación del IRC según su calidad

IRC	Calidad
60	Pobre
60-80	Buena
80-90	Muy buena
90-100	Excelente

Siempre se buscará una mejor reproducción cromática pero contra más alto sea el IRC más costosa será nuestra fuente de luz, por lo tanto se tiene que tener en cuenta la aplicación destinada para dicha iluminación.

3.2.3.3. Diagrama de cromaticidad CIE

Este diagrama es un espacio de colores donde cada uno de ellos queda definido por una coordenada x e y. La base del diagrama son los tres colores primarios o RGB (rojo, verde y azul), situados en los

extremos y a partir de los cuales se crean todos los demás. En la imagen 3.10 se muestra este diagrama.

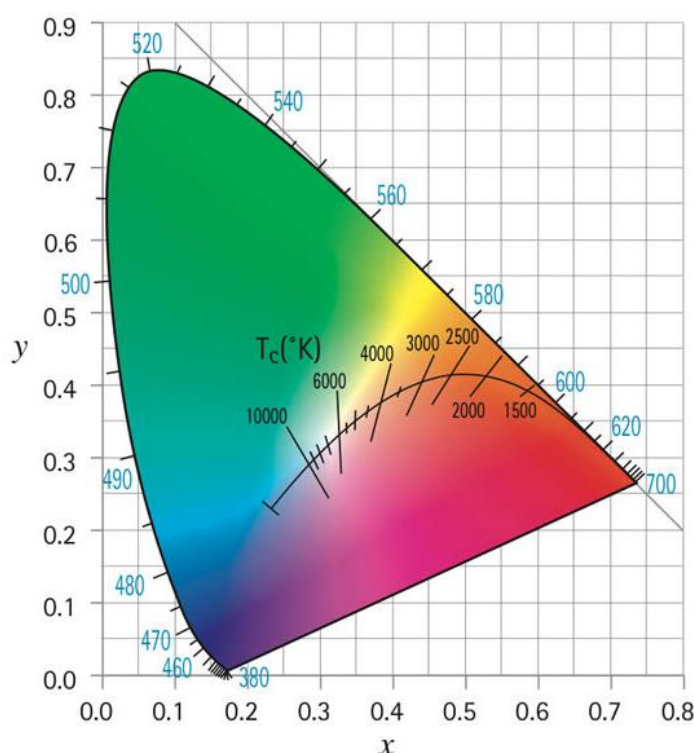


Figura 3.10. Diagrama de cromaticidad del CIE 1931 (Fuente: Referencia A9.04)

Las fronteras del diagrama representan la máxima saturación de los colores espectrales, se puede ver que los números en azul indican la longitud de onda asociada a cada uno de los colores. A medida que nos acercamos al centro del diagrama se va produciendo una unificación de colores hasta llegar al centro donde se encuentra la región del blanco, además el diagrama tiene una curva que indica las diferentes tonalidades de TTC, solo asociadas al color blanco.

3.2.3.4. Uniformidad del color

Para que la iluminación con LED se mantenga uniforme con el paso del tiempo se debe asegurar que durante la vida útil de las lámparas se mantengan unos límites o tolerancias establecidas llamadas elipses de MacAdam y el concepto de SDCM (Desviación estándar de correspondencia de colores) para cada temperatura de color.

La elipse de MacAdam mide el nivel de variación dentro de un mismo color antes de que el ojo humano pueda percibirlo. Cuanto más cerca del punto central de la elipse se encuentre el color menos desviación se notará entre los colores de las diferentes lámparas, como puede darse el caso en una tira de led. Este concepto se desarrollará más ampliamente a lo largo del proyecto.

Las distancias se miden en SDCM, si se tiene una SDCM de paso 1 no se notará diferencia de color entre los chips del LED, con una SDCM de 2 a 5 apenas existirá diferencia en el color, pudiendo aceptar uniformidades de hasta 7 SDCM. En la imagen 3.11 se muestran los 7 pasos de una elipse de MacAdam para una TTC de 4000K.

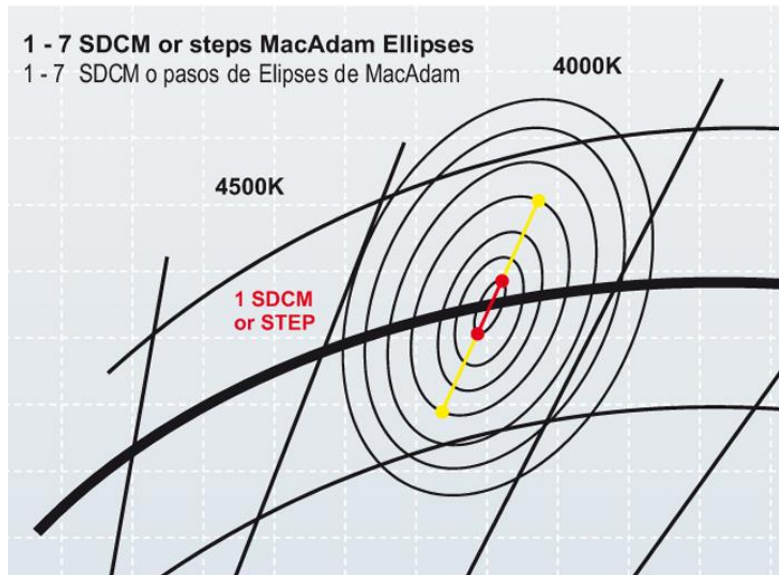


Figura 3.11. Elipse de MacAdam con 7 pasos SDCM para 4000 K (Fuente: Referencia A9.04)

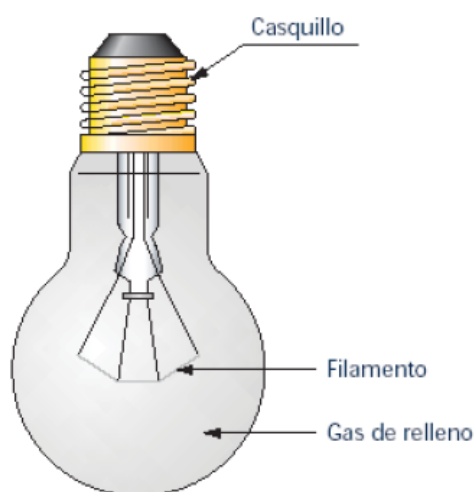
3.2.4. Tipología de lámparas

En cuanto a lámparas se refiere existen dos tipos de iluminación, la iluminación tradicional y la iluminación LED, causante de desbancar la iluminación tradicional como lo son las lámparas de incandescencia, las de descarga y las de inducción.

3.2.4.1. Lámparas incandescentes convencionales

La luz obtenida es resultado del proceso de incandescencia por agitación térmica (calentamiento por efecto Joule) de los átomos del material del filamento de la lámpara. Dentro de la lámpara se encuentran gases inertes (90% Argón y 10% Nitrógeno) que evitan la volatilización del filamento. Su rendimiento energético es bajo ya que su porcentaje de radiación infrarrojo es muy alto además de tener un 85% de pérdidas por calor cosa que produce la obtención de solamente un 15% de luz visible. Su vida útil no es muy elevada (1000 h) y tiene una depreciación luminosa bastante significativa a pesar de tener un buen IRC ya que su espectro de emisión es continuo. Han sido sustituidas por lámparas de mayor rendimiento.

TABLA 3.3: Datos de funcionamiento de una lámpara incandescente



P(W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
25	225	9
40	430	10.75
60	730	12.2
100	1380	13.8
150	2100	14

Figura 3.12. Lámpara incandescente (Fuente: Referencia A9.05)

3.2.4.2. Lámparas incandescentes con halógenos

Su forma de emisión de luz es la misma que las incandescentes convencionales con la particularidad de que el gas de relleno es halógeno y ayuda a conservar el filamento y evitar el oscurecimiento de la carcasa cosa que provoca no sufrir depreciación luminosa con el tiempo. Se puede decir que es un perfeccionamiento de la anterior, su eficiencia es buena a pesar de seguir produciendo muchas pérdidas por calor. Su vida útil es ligeramente superior a las convencionales con unas 2000-5000 h en servicio.

TABLA 3.4: Datos de funcionamiento de una lámpara halógena

P(W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
1	50-80	50-80
10	550	55
60	3000-3400	50-57
150	7500-8500	50-57
1500	33000	22

3.2.4.3. Lámparas de descarga

La producción de luz se consigue mediante la excitación de un gas contenido en el interior del tubo de descarga como consecuencia de la aplicación de una descarga eléctrica entre dos electrodos. El gas contenido en la lámpara puede ser vapor de Mercurio o vapor de Sodio a alta o a baja presión por lo tanto se pueden clasificar según el gas utilizado y la presión aplicada, variando mucho sus propiedades de unas a otras

Este tipo de lámpara es más eficiente porque no producen tanto calor, también tienen la ventaja de ser más económicas que las incandescentes. Su espectro de emisión es discontinuo por lo tanto no emiten luz blanca y produce unos valores de IRC bajos, además necesitan de dispositivos adicionales, llamados balastos.

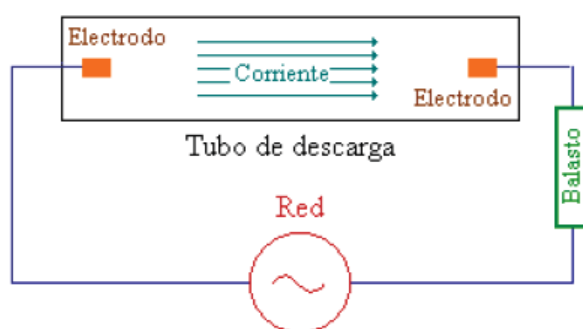


Figura 3.13. Partes y funcionamiento de una lámpara de descarga (Fuente: Referencia A9.05)

TABLA 3.5: Clasificación de las lámparas de descarga según el gas y la presión

	Vapor de mercurio	Vapor de sodio
Baja presión	Lámparas fluorescentes	Vapor de sodio a baja presión
Alta presión	Vapor de mercurio a alta presión Luz de mezcla Con halogenuros metálicos	Vapor de sodio a alta presión

No se adentrará en el funcionamiento de cada uno de los tipos de lámparas de descarga pero en la tabla 3.6 se ven sus parámetros más característicos.

TABLA 3.6: Datos de funcionamiento de las lámparas de descarga

Tipo de lámpara	% luz visible	Eficacia (lm/W)	Vida promedio	TTC	IRC
Fluorescente	28	38-91	7000-10000	2600-6500	80-90
VMAP	16.5	40-63	8000-14000	3500-4500	40-45
Luz de mezcla	16.5	19-60	6000	3600	60
Halogenuros metálicos	20	60-96	11000	3000-6000	65-85
VSBP	31	100-183	15000	1800	20-80
VSAP	40.5	70-130	20000	2000-2200	25-80

3.2.4.4. Lámparas de inducción

Su funcionamiento se basa en la descarga a baja presión pero con la diferencia de prescindir de los electrodos e incorporar dos bobinas que proporcionan la energía de accionamiento necesaria a través de un campo magnético. Necesitan de un equipo de control de alta frecuencia que puede producir interferencias electromagnéticas.

Entre sus propiedades más características destaca un amplio rango de TTC que va de los 2700 a los 7000 K y un IRC de 80. Relativo a su eficacia es de nivel medio, entorno a los 80 lm/W.

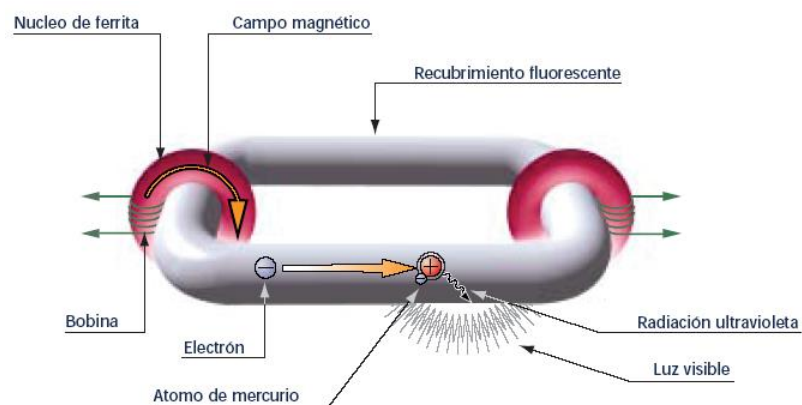


Figura 3.14. Partes y funcionamiento de una lámpara de inducción (Fuente: Referencia A9.05)

3.2.4.5. Lámparas LED

A diferencia de las demás es una lámpara de estado sólido basada en el principio de la electroluminiscencia. El diodo es un elemento electrónico semiconductor que permite el paso de corriente en una sola dirección y cuando se polariza emite luz. En el punto 3.3 de esta memoria se explica de una manera mucho más extensa todos los conceptos relacionados con el LED.

La característica más destacada de los leds es la larga vida útil que proporcionan aunque ésta puede verse afectada por factores como la temperatura o las condiciones de uso del LED. Las lámparas led están diseñadas para alcanzar una vida de 50000 h teniendo en cuenta la depreciación luminosa del 70% del flujo luminoso total, de manera que también se reduce el coste por mantenimiento necesario para las luminarias que utilizan esta tecnología.

Otra de sus ventajas es la no utilización de componentes frágiles o vulnerables como vidrio, filamentos o gases pero si son extremadamente sensibles a influencias electroestáticas como cualquier dispositivo electrónico. Además su eficacia energética es muy elevada (70-180 lm/W) con la ventaja de ser una tecnología que sigue estando en fase de desarrollo y mejorando a pasos agigantados día a día.

También hay que destacar lo fácil que resulta regular el led, sobretodo destaca su total intervalo de control (0- 100%) y los diferentes métodos de regulación estandarizados que se pueden aplicar para ello, llegando a reducir el consumo nominal en un 10%.

Por último otra de sus ventajas es su bajo impacto ambiental, es uno de los más bajos del mercado pero destaca el potencial que tiene para que su huella ecológica sea imperceptible. Esto es posible gracias a que no contienen mercurio a diferencia de otras lámparas y no producen radiaciones infrarrojas o ultravioletas, muy interesante para entornos como comercios alimenticios, tiendas de ropa o museos.

3.2.5. Iluminación tradicional vs. iluminación LED

En el punto anterior se explicaron los puntos fuertes y débiles de cada tipo de lámpara, en este punto lo que se hará es ver de una manera más gráfica las ventajas más significativas del led respecto a las otras lámparas. Principalmente su ventaja es el ahorro energético que siempre se traduce en ahorro económico.

Se vio como la vida útil del led es, con diferencia, mucho más elevada que la de cualquier otro tipo de lámpara. Por el contrario la iluminación LED tiene la desventaja de producir depreciación luminosa a medida que transcurren las horas pero aun así, considerando este factor de perdidas, su vida útil es

muy superior a todas las demás con un valor de 50000 h. En el gráfico 3.1 se ve ésta comparación junto con el porcentaje de incremento del LED respecto a cada una de las tecnologías.

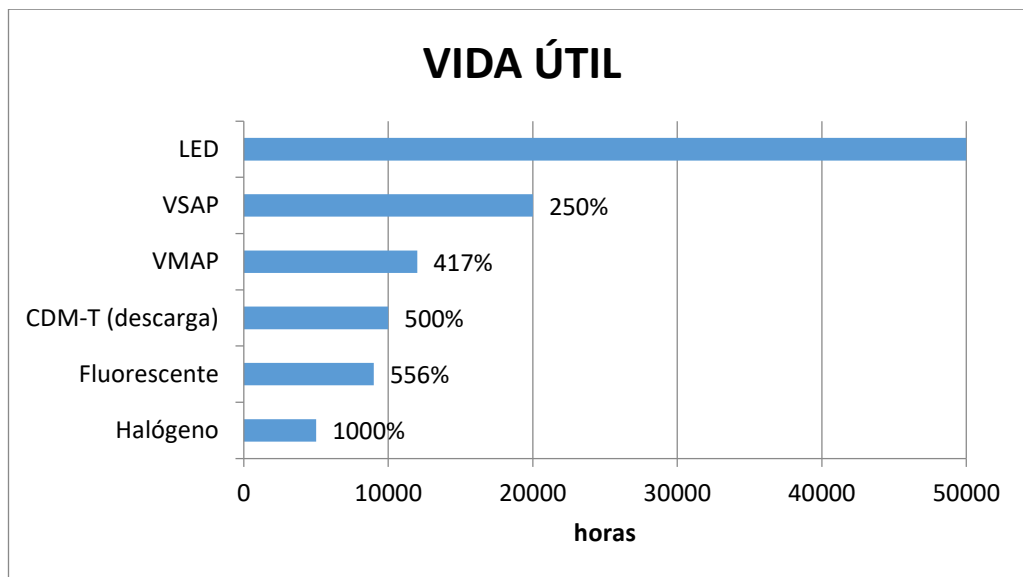


Gráfico 3.1. Comparación de la vida útil para diferentes tipos de lámparas

Además la tecnología LED ofrece una eficacia luminosa de las más elevadas (gráfico 3.2), compitiendo con las lámparas de descarga de vapor de sodio. Cuando se habla de ahorro energético y decimos que el led consume menos pero la realidad no es que consuma menos sino que para un vatio consumido por el LED, la cantidad de lúmenes que se ofrece es mayor que para todas las otras lámparas.

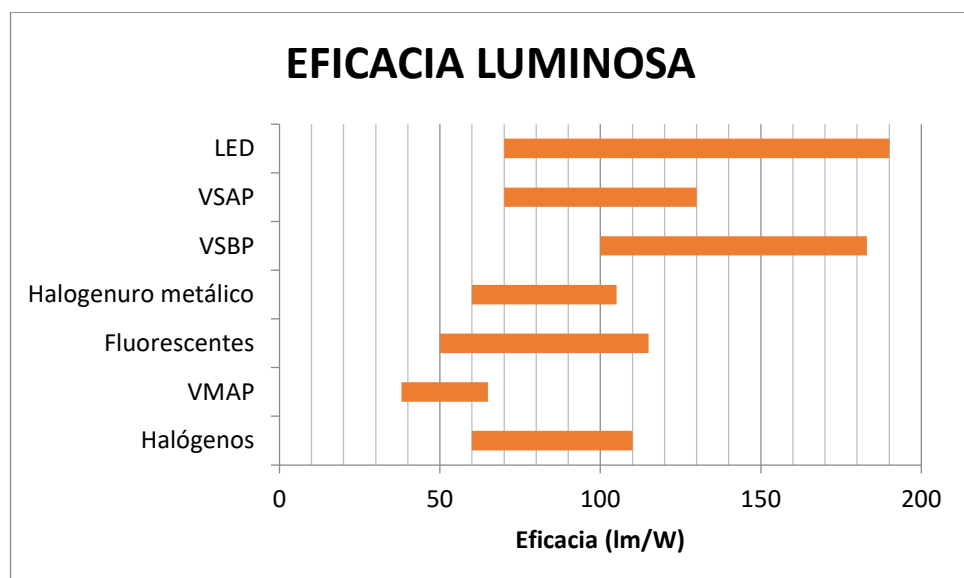


Gráfico 3.2. Comparación de la eficacia luminosa para los diferentes tipos de lámparas

En la gráfica 3.3 se visualizan los rangos de eficacia luminosa de los diferentes tipos de lámparas. Observando la tabla 3.7 con atención, aparte de ver cómo es más que evidente el ahorro energético y/o económico del uso del led, se pueden ver las limitaciones de algún tipo de lámpara como es el caso de los halogenuros metálicos y las lámparas de vapor de sodio ya que su consumo mínimo será de unos 60 u 80 W aproximadamente.

Es cierto que su eficiencia podrá ser elevada y que para estos consumos se ofrecen muchos lúmenes pero también es cierto que para una aplicación determinada se puede requerir una cantidad de lúmenes más baja y esto produce el descarte de este tipo de lámparas.

También se ha visto como el LED tiene una reproducción cromática de los colores muy buena que va desde un 60 a un 98. En el gráfico 3.3 se muestran los rangos de IRC para cada tipo de lámpara. Por último hay que destacar otra particularidad del LED y es que su tiempo de encendido es instantáneo y a diferencia de todas las demás, emite inmediatamente todo su flujo luminoso al encenderse, este hecho se puede apreciar en la figura 3.15, dónde se compara el encendido de un LED con dos tipos diferentes de fluorescentes.

TABLA 3.7: Comparación de lámparas según su potencia (valores en W) y lúmenes emitidos

LED	HALÓGENAS	BAJO CONSUMO	FLUORESCENTES	HALOGENUROS METÁLICOS	VAPOR DE SODIO	LÚMENES
% AHORRO	90%	72%	64%	61%	73%	
2	20	6				80-120
3	35	8				120-250
5	40	11	12			280-380
6	50	13	14			360-450
7	60	15	18			450-600
9	70	18	20			600-800
10	80	20	25			750-850
12	100	25	28			800-950
13	110	30	32			900-1000
15	120	40	36			1100-1300
18	140	50	44			1250-1500
20	150	60	58			1600-1800
25	200	70	70			1850-2050
30	250	80	120	60	80	2200-2650
50	400	100		100	120	3000-4000
80	600	150		150	200	6000-7000
100	750	200		200	250	9000-10000

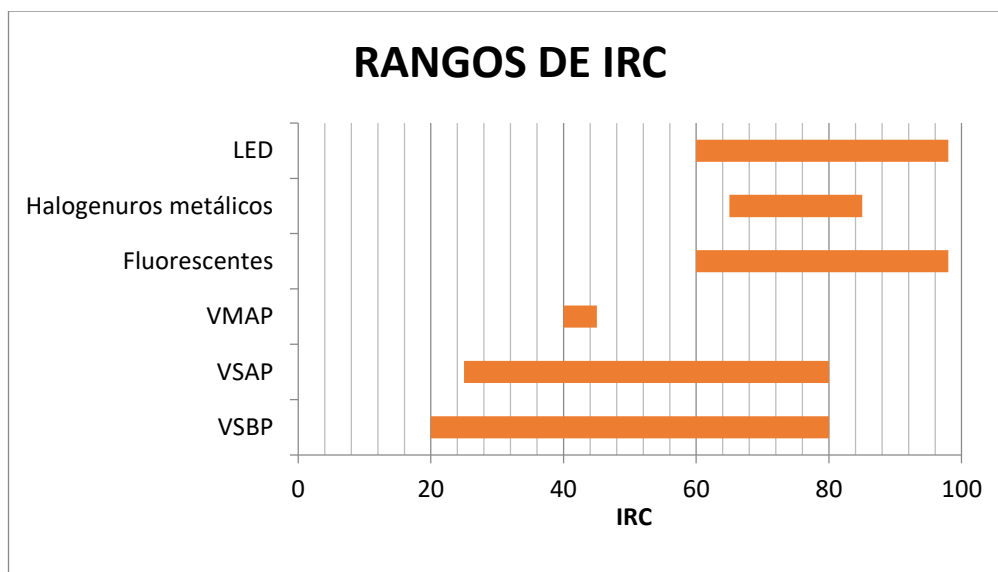


Gráfico 3.3. Comparación de las lámparas según su IRC

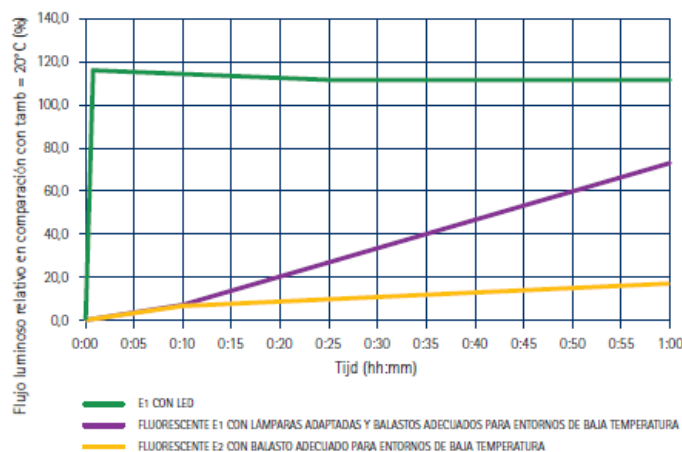


Figura 3.15. Comparación del comportamiento de la puesta en servicio del LED vs. dos lámparas fluorescentes. (Fuente: Referencia A9.06)

3.3. El LED

El LED (Light Emitting Diode) o diodo emisor de luz es un componente electrónico no lineal capaz de conducir en una sola dirección, cuando la corriente lo atraviesa emite luz en forma de fotón gracias a su característica electroluminiscente en respuesta de esa corriente eléctrica.

Tiene dos polaridades, un ánodo o parte negativa y un cátodo o parte positiva, a continuación se muestra su simbología.



Figura 3.16. Simbología de un LED (Fuente: : Referencia A9.01)

Este diodo está formado por un chip semiconductor en estado sólido capaz de emitir luz que va desde los rayos infrarrojos a los ultravioletas, dentro del espectro electromagnético. Se considera como un tipo de iluminación en estado sólido ya que no contiene ningún tipo de gas o elemento tóxico a diferencia de otros tipos de iluminación como las lámparas fluorescentes, lámparas de vapor de sodio y de mercurio, incandescentes y los halogenuros metálicos.

En 1907, el experto en radiocomunicación Henry Joseph Round experimentó con un cristal de germanio y descubrió el fenómeno físico de la electroluminiscencia, creó el primero diodo semiconductor pero resultó ser muy costoso y sin una visión futura sobre él.

En 1921 Oleg Vladimírovich Lósev fue la primera persona en desarrollar un LED y posteriormente, en 1962, el físico Nick Holonyak perfeccionó el modelo y fue el primer científico en desarrollar el primer LED de luz visible (rojo), su producción industrial y comercialización causó una gran revolución en el mundo de la señalización.

Durante los años posteriores fueron muchos los científicos que dedicaron sus esfuerzos en el desarrollo de esta tecnología, se desarrollaron nuevos materiales semiconductores que propiciaron la creación de nuevos colores como el verde, el naranja y el amarillo, mejorando la eficiencia y el rendimiento del LED.

No fue hasta 1971 que Jacques Pankove descubrió el LED azul de baja potencia hasta que Shuji Nakamura, ingeniero de Nichia, desarrolló en 1993 el primer led azul de alto brillo (InGaN) con unas prestaciones perfeccionadas y una gran eficiencia, este fue un punto de inflexión hacia la revolución de la iluminación, poniendo fin a la iluminación tradicional.

El problema de este led azul es que no acababa de iluminar, para ello es necesario el uso de luz blanca. En 1996 Lumileds desarrolla el primer led de luz blanca añadiendo una fosforo al led azul, finalmente en 2002 se empezó a comercializar con leds capaces de proporcionar más de 100 lúmenes, con opción de varios tonos de luz semejantes al blanco cálido y al blanco frío. Es aquí donde los leds comenzaron a competir con las fuentes de luz convencionales.

Por entonces aún se dudaba del reemplazamiento de la iluminación tradicional, hoy día con más de 160 lm/W el led sobrepasa en prestaciones a cualquier otra tecnología, aportando ahorro energético, gran calidad de color y versatilidad, además de no utilizar materiales peligrosos en su fabricación.

A continuación se desarrollarán varios puntos donde se explica cuál es la física de funcionamiento del led y comprender así cómo éstos son capaces de emitir luz. Seguidamente se explicarán los parámetros más influyentes, los tipos de leds existentes en el mercado, su evolución y los métodos de producción de luz blanca.

3.3.1. Física del led

Como ya se ha explicado el led está basado en la unión de semiconductores PN, se estudiará con más atención este fenómeno de generación de fotones y se verá como, según la composición química de los materiales semiconductores utilizados conseguimos un color determinado en la luz emitida.

3.3.1.1. Semiconductores PN

Se dijo que el led es un diodo formado por la unión de semiconductores PN y emite luz cuando se polariza directamente. Un elemento semiconductor tiene la capacidad de comportarse como conductor o como aislante, dependiendo de varios factores como el campo eléctrico o magnético, la temperatura o la presión en el material.

El elemento semiconductor más empleado hoy en día es el silicio, en un cristal de silicio cada átomo está unido a sus vecinos mediante cuatro electrones formando enlaces covalentes, a bajas temperaturas estos electrones están enlazados a los átomos pero cuando se incrementa la temperatura se produce una excitación térmica del electrón, dotando a alguno de ellos de más energía para poder escapar, quedando libres para conducir.

Los elementos químicos semiconductores de la tabla periódica se ven en la tabla 3.8.

TABLA 3.8: Grupo y electrones de valencia de los elementos semiconductores

Elemento	Grupo	Electrones en la última capa
Cd	12	2 e ⁻
Al, Ga, B, In	13	3 e ⁻
Si, C, Ge	14	4 e ⁻
P, As, Sb	15	5 e ⁻
Se, Te	16	6 e ⁻

La unión PN es la unión de dos cristales dopados con impurezas, según la naturaleza de estas impurezas se encuentran los semiconductores tipo P (impurezas aceptadoras) y los de tipo N (impurezas donantes).

Los semiconductores de tipo P se forman sustituyendo algunos átomos del semiconductor en estado puro por átomos con menos electrones de valencia, con esto lo que se consigue es dotar al semiconductor de mayor número de huecos o cargas libres positivas.

El dopaje en los semiconductores tipo N se realiza añadiendo impurezas con más electrones en su capa de valencia que el semiconductor puro. De esta manera aumenta el número de electrones libres en el material, obteniendo así una polaridad negativa.

Entonces la unión PN es una estructura formada por la unión de cristales semiconductores con dopados distintos. Como ya se dijo un semiconductor P tiene una gran concentración de huecos mientras que un semiconductor N tiene una concentración de huecos mucho menor por lo tanto, se producirá una difusión de huecos de P a N.

Del mismo modo habrá una difusión de electrones de la región N a la P, provocando que las impurezas de cada semiconductor queden a ambos lados de la unión y aparecerá una región en la parte central (zona de difusión) llena de cationes y aniones que darán lugar a un campo eléctrico.

Esto es lo que se denomina como recombinación electrón-hueco. Asociado a este campo eléctrico hay una diferencia de potencial (0.3-0.7 V aproximadamente) que actuará como barrera de las cargas móviles (impurezas) que anteriormente se situaron en los extremos. En este momento la unión PN deja de ser eléctricamente neutra, la zona P pasa a ser negativa ya que recoge los electrones de la región N y la zona N ahora tiene carga positiva ya que ha perdido sus electrones.

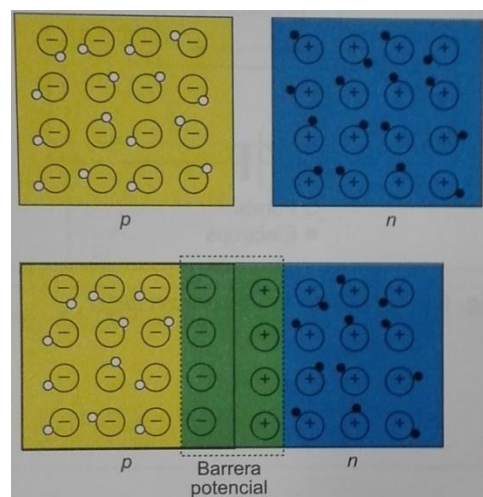


Figura 3.17. Unión PN y polarización (Fuente: libro Física II edebé)

La peculiaridad de este fenómeno es que si se aplica una tensión lo suficientemente alta en los extremos del cristal, la barrera de potencial creada disminuye y se crea una corriente eléctrica a través del semiconductor, esta acción recibe el nombre de polarización.

La polarización será directa si se conecta el polo positivo de la fuente al cristal P y el polo negativo al cristal N ($V_P > V_N$). Esta tensión aplicada lo que produce es que los cationes y aniones de la barrera de potencial se repelan, de manera que la barrera pierde energía y se facilita el salto de los electrones de N a P.

Por otro lado cuando está en polarización inversa ($V_P < V_N$) se produce un crecimiento de la barrera de potencial, haciendo aún más difícil el paso de electrones a través del cristal PN.

3.3.1.2. Emisión de luz en el led

La emisión de luz de un led se debe al fenómeno físico de la recombinación. La unión de un electrón en un hueco produce una emisión de energía emitida en forma de luz, más intensa cuantas más cargas móviles se recombinen. Es aquí donde aparece la teoría de bandas o de energía, formada por la banda de valencia, de conducción y prohibida.

En los semiconductores los electrones libres siempre tienen energías más altas que los que están enlazados en los átomos. Se denomina como banda de conducción al rango de energía de los electrones libres causantes de conducir la corriente eléctrica. Por otro lado está la banda de valencia, ocupada por los electrones de valencia poseedores de energías más bajas. No puede haber electrones en el semiconductor con energía entre ambas bandas, aparece aquí el término de banda prohibida, dónde no pueden encontrarse los electrones.

Cuando un electrón libre se recombina en un hueco el electrón libera energía en forma de calor o como radiación electromagnética. Para hacer más eficaz el proceso de recombinación la unión PN se sustituye por una estructura formada por capas de distintos materiales (heteroestructura) con diferentes anchos de banda prohibida, esto produce un estrechamiento de la banda prohibida y la formación de una especie de pozos donde los electrones y los huecos quedarán atrapados.

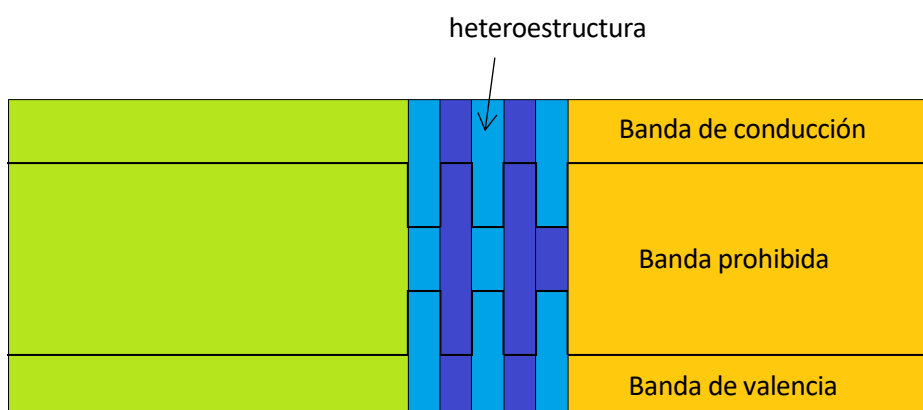


Figura 3.18. Representación de la heteroestructura en la unión PN y bandas (Fuente: propia)

La tendencia del electrón a ocupar niveles de energía más bajos hará que éstos queden atrapados en las cavidades. El comportamiento de los huecos es el opuesto, lo que se consigue con este acercamiento es el aumento de la probabilidad de recombinación, consiguiendo una alta recombinación en la zona central y, a su vez, el aumento de la eficiencia energética dado que convierten en luz una mayor parte de la energía eléctrica.

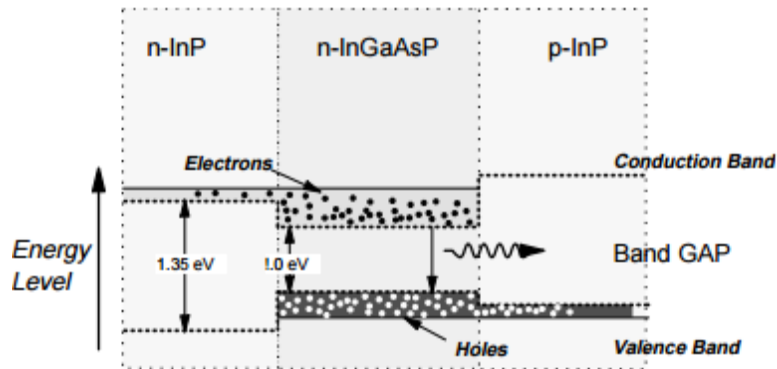


Figura 3.19. Flujo de electrones, huecos y flujo resultante de fotones (Fuente: Referencia A9.1)

Por lo tanto la corriente de polarización directa consta de tres componentes, la corriente de difusión de electrones inyectados a través de la unión a la zona P (J_n), la corriente de difusión de huecos a través de la unión a la zona N (J_p) y la corriente de recombinación en la zona de potencial (J_r) debida a la presencia de impurezas que permiten la existencia de niveles energéticos en la banda prohibida.

Pero esta producción de energía se puede producir de una manera espontánea o estimulada, la producción espontánea es el caso explicado, donde un electrón se eleva a un estado de alta energía produciendo cierta inestabilidad, el electrón regresa espontáneamente a un estado más estable, emitiendo un fotón al hacerlo.

La producción estimulada de luz tiene lugar cuando el electrón se encuentra en un estado alto de energía, antes de cambiar de estado espontáneamente otro fotón puede incidir sobre él, produciendo otro fotón idéntico.

Pero también se puede dar el caso contrario donde se absorbe el fotón produciendo un aumento de la energía en un electrón, por esta razón el led está diseñado de manera que los fotones se emiten desde la parte superior del diodo (región p), debido a que si lo hicieran desde la zona n habría una alta posibilidad de ser absorbidos por otro electrón antes de emerger, por eso es preferible que el flujo de inyección de electrones sea mucho mayor al de huecos de manera que la corriente pasa a estar dominada por los electrones ($J_n \gg J_p$).

La relación entre estos flujos se llama eficiencia de la inyección y viene dada por la siguiente fórmula:

$$\gamma_{iny} = \frac{J_n}{J_n + J_p + J_r} \quad (\text{Ec. 3.26})$$

Si durante el proceso de fabricación del led se utiliza un material de alta calidad en la zona de recombinación, el intervalo de energía prohibida será muy pequeño cosa que provocará que la corriente de recombinación también lo sea, llegando a eficiencias de inyección próximas a 1.

3.3.1.3. Energía de los fotones emitidos

Cada fotón emitido tendrá asociada una energía que dependerá de la composición química de los materiales que forman la región intermedia del LED. Los fotones pueden tener una amplia gama de valores de energía pero los que el ojo humano puede percibir están comprendidos solamente dentro del espectro de luz visible, es por eso que la selección de la combinación de materiales que forman la región central será un factor clave a la hora de determinar los colores a obtener, siendo el color rojo propio de energías más bajas y el color violeta para energías más altas.

El gran avance en la tecnología de la iluminación LED ha sido el descubrimiento de materiales capaces de producir luz azul de forma eficiente, la mayoría de los leds usados en iluminación están compuestos por un led azul recubierto por una sustancia fosforescente, con la capacidad de absorber parte de la luz azul y reemitirla con longitudes de onda mayores, esta mezcla da como resultado luz blanca y es la responsable de la TTC, ésta puede tener un tono frío o cálido, dependiendo si predominan los fotones de mayor o menor energía respectivamente.

A continuación se muestra una tabla con las combinaciones semiconductoras empleadas en los leds, junto los colores del espectro electromagnético emitidos.

TABLA 3.9: Color de emisión, longitud de onda y energía de diferentes combinaciones semiconductoras

Compuesto	Color	Long. De onda	Energía gap (eV)
GaAs	infrarrojo	870	1.42
GaAlAs	rojo e infrarrojo	800-900	1.38-1.55
AlInGaP	rojo y amarillo	700 y 580	1.77-2.13
GaAsP	rojo, naranja y amarillo	770, 600 y 590	1.61-2.1
GaP	rojo, amarillo y verde	750, 580 y 550	1.65-2.25
GaN	verde, azul y ultravioleta	570, 470 y 380	1.75-3.26
InGaN	verde y azul	550, 500, 470 y 450	2.25-2.75

SiC	azul	480	2.58
AlAs	amarillo	590	2.09
GaInP	naranja y rojo	640, 680	1.82-1.94

Los espectros emitidos por estos compuestos semiconductores son de líneas aunque en algún caso un compuesto determinado es capaz de emitir varios colores. A mayor energía menor longitud de onda y se relacionan mediante la fórmula siguiente:

$$\lambda (\mu\text{m}) = \frac{h \cdot c}{E_f} = \frac{1.24}{E_f (\text{eV})} \cdot 10^3 \quad (\text{Ec. 3.27})$$

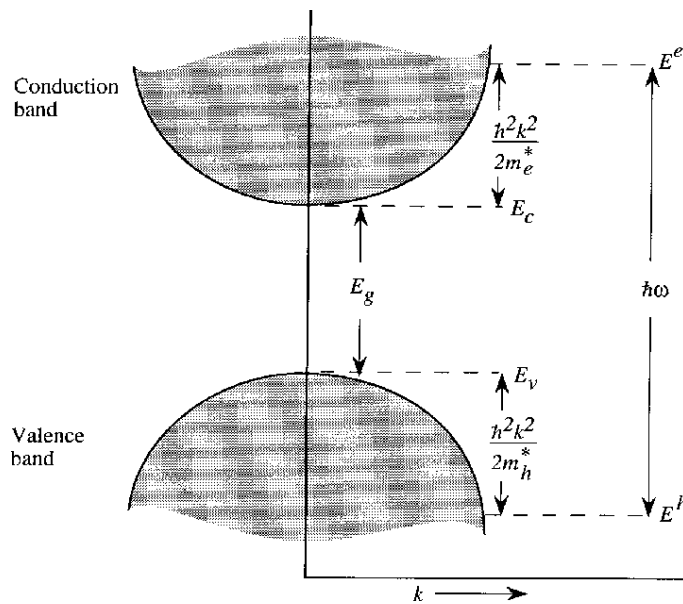


Figura 3.20. Curva E-k (Fuente: Referencia A9.01)

Entonces es evidente como la energía del fotón está relacionada con las energías del electrón y del hueco, la figura 3.20 muestra la representación de los niveles energéticos según la coordenada en altitud k de un material determinado, nos ayudará a comprender la energía resultante del fotón obtenida mediante las siguientes fórmulas:

$$E^e = E_c + \frac{\hbar^2 k^2}{2 \cdot m_e^*} = E_c + \frac{m_r^*}{m_e^*} \cdot (\hbar \cdot \omega - E_g) \quad (\text{Ec. 3.28})$$

$$E^h = E_v - \frac{\hbar^2 k^2}{2 \cdot m_h^*} = E_v - \frac{m_r^*}{m_h^*} \cdot (\hbar \cdot \omega - E_g) \quad (\text{Ec. 3.29})$$

$$E_f = \hbar \cdot \omega - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2} \cdot \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] = \frac{\hbar^2 k^2}{2 \cdot m_r^*} \quad (\text{Ec. 3.30})$$

Dónde:

\hbar es la constante de Planck reducida, $\hbar = h/2\pi$

ω es la frecuencia angular $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

k es la coordenada en altitud

m_e^* y m_h^* son las masas del electrón y del hueco respectivamente

m_r^* es la masa reducida del sistema electrón-hueco

3.3.1.4. Partes de un led

Se denomina led al conjunto de componentes donde se encuentra nuestra fuente de luz o el chip led propiamente dicho, a continuación se muestra la figura 3.21 dónde se pueden apreciar cada uno de los componentes que lo forman.

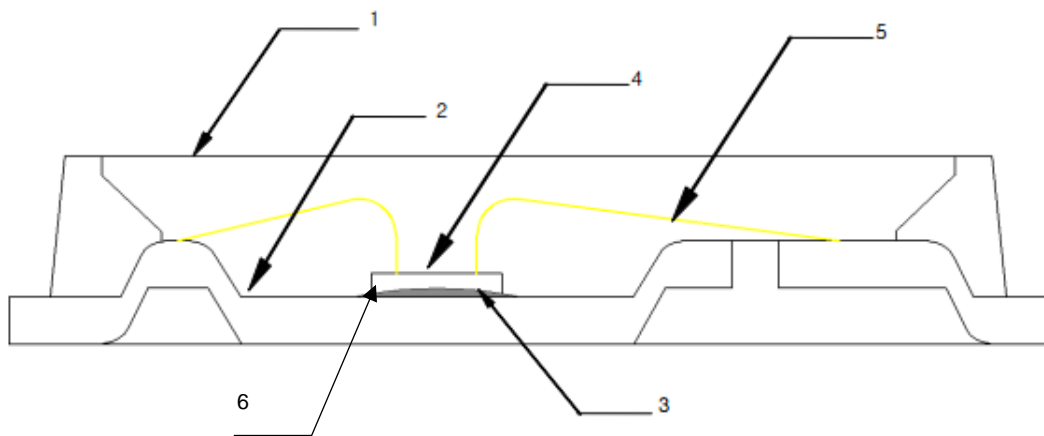


Figura 3.21. Partes de un encapsulado LED (Fuente: Referencia A9.07)

TABLA 3.10: Partes del LED correspondientes a la figura 3.21

Nº	Parte	Descripción
1	Encapsulado	Carcasa envolvente del chip
2	Electrodo	Contactos de conexión
3	Adhesivo	Adhesivo para conducir la calor y fijación del chip
4	Chip LED	Fuente luminosa
5	Cable	Unión electrodo-chip
6	Sustrato	Base disipadora de calor y soporte

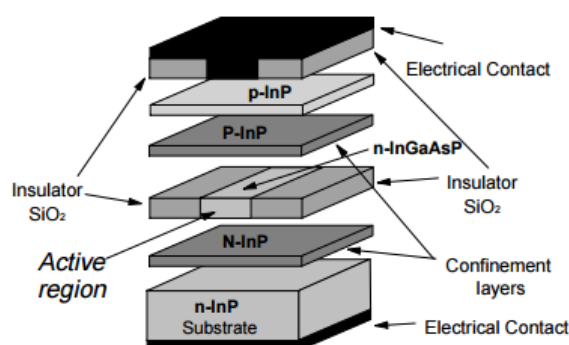


Figura 3.22. El chip LED (Fuente: Fuente: Referencia A9.01)

3.3.2. Parámetros más influyentes en el LED

Principalmente el LED es muy sensible a dos factores, estos son la temperatura y la corriente que circula por él. Si se mantiene un buen control de estos dos factores se conseguirán obtener las prestaciones deseadas del LED pero en cambio, si no se hace una buena gestión de temperatura o de corriente, el flujo luminoso y la vida útil se verán enormemente afectados.

3.3.2.1. Influencia de la temperatura

La temperatura es el parámetro más crítico a la hora de utilizar luminarias LED ya que tiene una gran influencia en su vida útil. Es lógico que el led se caliente como todo componente electrónico debido al paso de corriente a través de él pero si no se disipa bien el calor que éste genera, la luz emitida se irá degradando gradualmente hasta acortar rápidamente su vida. La temperatura de funcionamiento también depende de otro factor como la temperatura ambiente ya que ésta, si es muy elevada, incrementará más la temperatura de funcionamiento y no ayudará en el proceso de disipación. A más temperatura más degradación luminosa habrá.

Para asegurarnos de que la disipación se produce de manera correcta es de vital importancia mantener una buena unión entre el diodo y la superficie de disipación, la temperatura en este punto la llamaremos temperatura de la unión (T_j). Esta unión se mejora mediante el uso de grasas térmicas conductoras u otros materiales adhesivos (TIM) que facilitan esta disipación, si el área de disipación es insuficiente es normal el uso de disipadores.

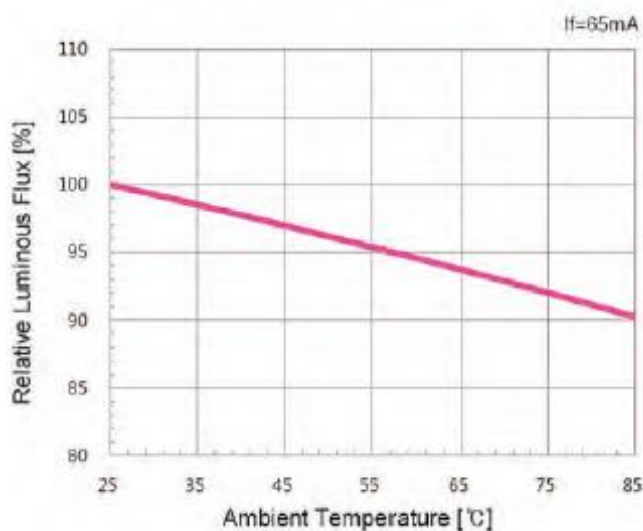


Figura 3.23. Variación del flujo luminoso según la temperatura ambiente (Fuente: Referencia A9.06)

En la figura 3.23 se ve que para un incremento de 25° en la temperatura de la unión se reduce la vida útil del LED de 50.000 a 20.000 horas.

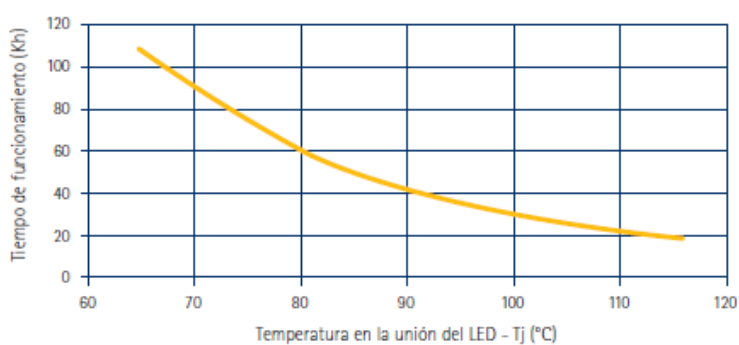


Figura 3.24. Influencia de la temperatura de unión en la vida útil (Fuente: Referencia A9.06)

A pesar de conseguir un buen control de la temperatura en la luminaria, es prácticamente imposible eliminar la depreciación luminosa que sufren las fuentes LED durante su servicio pero si no se gestiona correctamente la temperatura hará que esta depreciación incremente a un ritmo vertiginoso, se puede comprobar en la imagen 3.25.

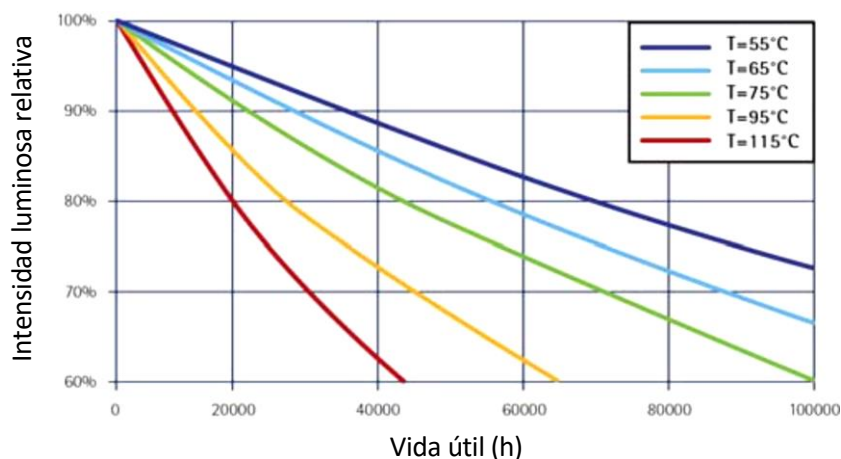


Figura 3.25. Influencia de la temperatura en la intensidad y vida útil del LED. (Fuente: Referencia A9.06)

3.3.2.2. Influencia de la intensidad

La intensidad es otro de los parámetros más influyentes en la vida útil del LED ya que está estrechamente relacionada con la temperatura, contra más corriente más temperatura y a su vez menos horas de vida. Por otro lado la intensidad está relacionada con el voltaje, los diodos son componentes muy sensibles a las variaciones de corriente ya que trabajan a voltajes muy bajos por lo que cualquier pequeño incremento de corriente puede hacer sobrepasar el voltaje para el que el led está diseñado.

Normalmente cuando queremos que un LED emita más flujo luminoso se aumenta la intensidad ya que estos dos parámetros son directamente proporcionales. Es por esta razón que al jugar con la relación intensidad-lúmenes, algo muy habitual en la iluminación LED, hay que tener sumo cuidado de no sobrepasar los límites permitidos por el diodo, entorno a los 700 mA y tener en cuenta que al aumentar la intensidad, también se reducirá su vida útil.

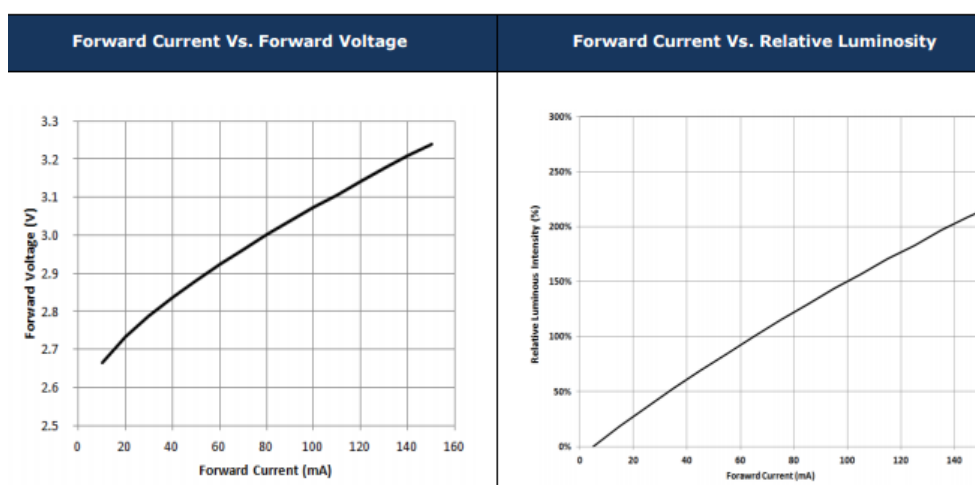


Figura 3.26. Influencia de la intensidad en el voltaje y en el flujo luminoso relativo (Fuente: Referencia A9.07)

3.3.2.3. Vida útil del LED

Ya se explicó que la vida útil de una luminaria convencional se define como el porcentaje de falla completa para un porcentaje determinado de lámparas pero se sabe que para la tecnología LED no es una definición práctica ya que aparece el fenómeno de depreciación luminosa. Entonces para definir el término de vida útil aparecen diferentes parámetros:

- Valor L: Este valor nos indica la disminución del flujo luminoso respecto a su valor inicial al cabo de un determinado tiempo.

-Valor B: El valor B se introdujo para representar las posibles variaciones del valor L, por lo tanto este parámetro nos describe el porcentaje de módulos que no llegan a alcanzar el valor L especificado.

-Valor C: Es el porcentaje representativo del número de fallas, es decir cuando la lámpara led ya no emite luz.

-Valor F: El valor F representa la combinación de fallas, ya sea por fallo gradual (valor B) o por fallo total (valor C).

Por lo tanto si ese encuentra una depreciación luminosa de L90F10 querrá decir que un 10% de los módulos fallarán o estarán por debajo del 90% del flujo luminoso inicial y tendrá asociado un valor determinado de horas.

Volviendo atrás, la vida útil de una lámpara LED se define como el tiempo que dura el producto hasta que el flujo inicial alcanza una degradación del 30% por lo tanto la vida útil corresponde a un número determinado de horas para L70, dónde el número de horas normalmente está establecido en 50.000h.

3.3.2.4. Evolución

En la tabla 3.11 están los parámetros más relevantes en cuanto a iluminación LED, es una tabla de valores solo para luces blancas cálidas y se observan las estimaciones que se hacen respecto a rendimientos y eficacias en puntos clave como la gestión térmica del chip, el driver y las luminarias. Se estima que se llegará a un total de 202 lm/W de eficacia para el conjunto total de la luminaria siendo este un dato increíble ya que se esperan rendimientos de hasta el 76%.

TABLA 3.11: Evolución de los parámetros más característicos en iluminación LED

	2011	2013	2015	2020	Máximo esperado
Eficacia chip LED (lm/W)	97	129	162	224	266
Eficiencia térmica	86%	87%	88%	90%	90%
Eficiencia del driver	85%	87%	89%	92%	92%
Eficiencia de la luminaria	65%	66%	69%	76%	76%
Eficacia luminaria (lm/W)	61	85	112	170	202

3.3.3. Tipologías de led

Para montar el LED en la superficie de un circuito impreso o PCB existen dos tecnologías diferentes, la tecnología Chip on board (COB) y la tecnología Surface Mounted Device o montaje en superficie (SMD).

En los COB los chips LED, su hilo de unión, el fósforo y la lente primaria se montan sobre la placa de circuito impreso directamente, formando un único módulo. Al ser un ensamblaje de varios chips el COB abarca una gran área de emisión luminosa y niveles de flujos superiores al SMD. Además estos dispositivos usan un solo circuito con dos contactos para realizar la conexión de todos los chips y se requieren menos componentes para su funcionamiento, lo que provocará una generación menor de calor por parte de cada uno de los chips y a su vez una mejora de su intensidad lumínica.

Otra ventaja que presenta es la reducción de las fallas en el dispositivo debido a la reducción de los controladores para cada chip y la no necesidad de soldadura del chip ya que estos están directamente montados en el sustrato, cosa que permite una mayor durabilidad.



Figura 3.27. Módulo LED de tipo COB (Fuente: Referencia A9.08)

En cambio en los chips SMD los diferentes componentes son premontados en cápsulas individuales y es esta cápsula la que se suelda en la PCB como una única pieza. A diferencia de los COB se necesitará un circuito para cada uno de los chips cosa que provoca un incremento del uso de dispositivos de control y, como consecuencia un aumento en la generación de calor que a su vez reducirá la eficiencia luminosa y un menor número de horas en servicio.



Figura 3.28. Módulo LED del tipo SMD (Fuente: Referencia A9.08)

3.3.4. Obtención de luz blanca

En el uso del LED como fuente de iluminación no existe ningún material que pueda generar luz blanca directamente, para obtener luz blanca se recurre a la mezcla de varios colores y existen dos maneras de conseguirla, una mediante el uso simultáneo de varios LED RGB monocromáticos y la otra mediante la utilización de un chip azul recubierto de fósforo, llamado así por su color fluorescente.

3.3.4.1. Método RGB

Para obtener luz blanca se recurre a la mezcla de luz emitida por un chip rojo, un chip verde y un chip azul cuya luz resultante es luz blanca. Es un método poco utilizado ya que es un sistema con una reproducción de la luz bastante pobre además de tener un precio elevado.

A pesar de que con una combinación de RGB son posibles todas las TTC, ofrecen la desventaja de tener un control de la luz bastante complejo porque cada uno de los colores tiene una dependencia de la temperatura distinta.

3.3.4.2. Método del chip azul

Este método emplea el uso de un chip azul con una capa de fósforo de un color determinado que recubre la superficie del chip. Este principio luminiscente es común tal y como se hizo con la iluminación fluorescente, se emplea un recubrimiento para modificar el color de luz emitida.

Si el color del fósforo es amarillo se obtienen TTC frías con una buena reproducción del color aproximadamente de 70. Si por el contrario se utilizan fósforos de color rojo o verde lo que se obtiene son luces cálidas con una mejor reproducción cromática igual o superior a 80 pero con un flujo luminoso ligeramente inferior.

Por lo tanto, el color del fósforo también influye en la eficiencia del LED, un material luminiscente amarillo tiene un rendimiento mayor que uno rojo, entonces, las luces con TTC más frías tendrán una mayor eficiencia que no las cálidas.

4. DISEÑO DE LA LUMINARIA

En este capítulo se define el proceso para obtener el diseño deseado para nuestra luminaria en cuanto a estética y parámetros técnicos se refiere. Para obtener un diseño adecuado es de vital importancia el análisis de ciertos puntos relacionados con el mercado, ya que es aquí donde va a tener cabida nuestro producto.

VECXA LIGHTING es una empresa española creada en 2013 en Gavá. Vecxa es la evolución de SUNFOR ILIGHT S.L, proveedor de productos para iluminación procedentes de China. Al ver como algunos productos quedaban obsoletos y la reticencia que tiene el mercado hacia el producto chino, se decide dar un salto hacia el diseño y fabricación de productos LED propios, haciendo posible la intervención en el desarrollo del producto cosa que antes no era posible.

En Vecxa ofrecemos servicios globales, nos dedicamos a la creación de productos técnicos, proyectos y soluciones de iluminación, incorporando las tecnologías más avanzadas en el sector como lo es el LED. El objetivo de Vecxa es ofrecer productos de calidad y con una elevada eficiencia energética, contribuyendo así a la reducción del consumo que a su vez proporciona un mayor ahorro económico.

Nuestro portfolio dispone de una gama de productos para iluminación interior, es por eso que, con el diseño de esta luminaria se quiere ofrecer una posibilidad más dentro del mercado outdoor. Todos nuestros productos están diseñados, fabricados y ensamblados en España cosa que nos permite supervisar y validar cada una de las fases de creación y desarrollo de nuestras luminarias, garantizando así la calidad final deseada para comercializar nuestros productos.

En Vecxa Lighting pensamos en el futuro, diseñamos nuestros productos para que tengan un fácil mantenimiento y reemplazabilidad de manera que no se tenga la necesidad de cambiar la luminaria al completo sino que simplemente se reemplace el componente necesario, alargando así la vida útil del producto.

La modularidad y la reutilización de los componentes son factores clave para que nuestros productos sean respetuosos con el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental del proceso de desarrollo, fabricación y reciclaje de nuestros productos.

Para diseñar este producto partimos de la base de la entrada de un nuevo proyecto, una solución a medida dónde nos piden el desarrollo de una baliza LED para exterior, esto se aprovechará para incorporar esta nueva opción lumínica a nuestro portfolio, abriendo así una gama de productos de aspecto técnico decorativo destinados a exterior y abriéndonos hueco en este sector del mercado.

Para saber cuál es la estrategia a seguir se ha hecho el siguiente análisis DAFO sobre la empresa, observando las ventajas competitivas que la empresa puede ofrecer frente a sus competidores, captando clientes donde se encuentran las debilidades del sector.

TABLA 4.1: Análisis DAFO de Vecxa Lighting

ANÁLISIS INTERNO	
DEBILIDADES	FORTALEZAS
<ul style="list-style-type: none"> -Desconocimiento en el desarrollo de productos destinados a uso exterior. -Limitación en inversiones a corto plazo. -Series cortas de producción. -Dependencia de otras empresas para la fabricación. -Costes unitarios más altos que provocan rentabilidades inferiores. -Juventud de empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> -Amplio conocimiento en iluminación LED, fabricación y electrónica. -Productos funcionales pensados para garantizar el ahorro. -Soluciones a medida con amplias opciones lumínicas. -Iluminación técnica con una relación calidad precio muy buena. -Fabricación española de calidad. -Fácil adaptación al cambio y a los nuevos avances tecnológicos.
ANÁLISIS EXTERNO	
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> -Competidores con todo tipo de diseños que hace que la innovación sea una tarea difícil. -Competidores con productos muy orientados al diseño en cuanto a estética se refiere. -Entrada de nuevos competidores en el ámbito de iluminación LED. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cambio en el mercado hacia la utilización de tecnología LED. -Modularidad del mercado, reemplazabilidad de los componentes. -Búsqueda de un mantenimiento fácil y rápido. -Customización y singularidad del mercado. -Desarrollo de proyectos con acuerdos con terceros aportando tecnología.

Un primer punto clave es la identificación de las necesidades del mercado, una vez definidas estas necesidades y las expectativas alcanzables se definirán las especificaciones técnicas, base primordial para empezar a desarrollar el producto y tener una primera idea de qué y cómo se puede hacer. El siguiente paso será hacer un estudio de mercado más completo recopilando información de los productos similares de la competencia.

4.1. Requisitos del cliente

Para saber qué es lo hay que diseñar partimos de unos requisitos según las necesidades del cliente, en nuestro caso el producto va dirigido específicamente a un cliente que necesita balizas para un hotel.

Además este producto será añadido a nuestro portfolio y su canal de venta será mediante arquitectos, ingenierías, constructoras e instaladores para posteriormente llegar al usuario final, en este caso al sector terciario como lo son los hoteles, viviendas, espacios públicos como jardines y parques, centros comerciales, entre otros.

Adaptando las necesidades de creación de Vecxa junto con las del cliente, los requisitos a cumplir son los siguientes:

- **Uso exterior:** luminaria destinada a uso exterior, concretamente en parques y jardines además de poderse utilizar en cualquier espacio de alumbrado outdoor no destinado a la iluminación pública.
- **Buena iluminación:** es muy importante saber cuál es el objetivo de la iluminación ya que para lugares exteriores a veces el objetivo no es iluminar y que se vea bien, simplemente se busca señalar algunas zonas con un poco de luz o marcar caminos, integrando la luz a la parte estética del escenario a iluminar. En nuestro caso se pide una iluminación más técnica, no basta solo con dar un poco de luz.
- **Seguridad:** requisito fundamental ya que el producto debe cumplir con todas las condiciones necesarias para garantizar un funcionamiento seguro teniendo en cuenta todos los posibles riesgos a los que se puede exponer.
- **Ahorro económico y durabilidad:** la sociedad tiende a buscar el ahorro, desde nuestro punto de vista está estrechamente relacionado con la durabilidad porque de nada sirve un producto muy barato que dure poco, de lo que se trata es de amortizar la inversión.
- **Diseño elegante:** diseño con líneas finas capaz de integrarse en escenarios de exterior sin resaltar exageradamente con el entorno.

4.2. Estudio de mercado

A continuación se analizan quienes son nuestros competidores junto con una pequeña explicación de la historia de la empresa, sus productos y las fortalezas y debilidades que cada una de ellas tiene. Después se hará un estudio más amplio con todos los detalles de los productos que estas empresas ofrecen para ver exactamente qué cosas nuevas y mejoradas se puede ofrecer con nuestro diseño.

4.2.1. Competidores

En este punto se hará una breve descripción de nuestros competidores junto con una apreciación de las balizas que estos ofrecen, no de la totalidad de sus productos.

4.2.1.1. Novolux

Novolux es una empresa fundada en 1981 en Barcelona. Es uno de los principales proveedores de iluminación a nivel estatal especializado en la iluminación exterior además de tener influencia en el mercado internacional. Dispone de una amplia gama de productos de diseño divididos en cuatro líneas: luminarias de exterior arquitectural, exterior residencial, interior decorativo e interior técnico.

Centrándonos solo en sus productos de iluminación exterior, concretamente en las balizas y columnas se observa que dispone de una amplia gama de productos orientados al diseño, siendo llamativa la parte estética de los productos, así como la gran variedad de acabados y materiales utilizados (aluminio, acero, acero inoxidable, piedra, varios tipos de PMMA, PC, PPH, resina, madera y cristal). Se destaca el alto precio de venta de sus productos a pesar de disponer de algunos más asequibles.

Sobre la parte técnica se puede decir que no es una empresa orientada al mercado del LED ya que la mayoría de sus productos no lo incorporan, el retrofit se ha realizado incorporando simplemente bombillas LED, siendo los productos que utilizan módulos LED un bajo porcentaje de su totalidad. También se observa que las variedades de TTC no están presentes dentro del mismo producto ya que disponen de tan solo una opción, siendo estas temperaturas más bien cálidas y alguna neutra (3000 y 4000K). Sobre las intensidades luminosas ofrecen muchas posibilidades desde iluminaciones muy altas a muy bajas pero no dentro de un mismo producto.

En resumen se puede decir que es una empresa más bien orientada al diseño que no a la parte técnica, se nota que no es una empresa especializada en LED ya que en sus catálogos se puede ver la falta de algunos parámetros de especial importancia como lo son la eficacia luminosa, la vida útil de las lámparas, la frecuencia de trabajo, el factor de potencia, el THDi o deslumbramiento y tampoco ofrecen la posibilidad de regulación de las luminarias.

4.2.1.2. One light

One light es una empresa fundada en el Reino Unido en la localidad de Hertford. Cuenta con un mercado internacional que abarca unos 50 países. Su gama de luminarias para exterior es amplia pero ofrece pocas opciones en cuanto a tecnología LED se refiere.

Son productos más orientados al diseño, ofreciendo poca variedad entre ellos ya que todos se fabrican con aluminio y suelen seguir una misma estructura de formas tubulares. Un factor importante es el precio, las luminarias de exterior LED de One light tienen un precio muy competitivo.

Sobre la parte técnica de sus productos se comentó que pocos de ellos utilizan LED y los que lo hacen ofrecen pocas opciones lumínicas, usando solo una TTC de 3000K y con intensidades luminosas muy bajas y similares, en resumen se puede decir que es una empresa puntera en iluminación tradicional que está estancada en el cambio de tecnología al que se dirige el mercado.

4.2.1.3. SLV

SLV es una empresa alemana fundada en Palenberg en 1979. Es proveedor de luminarias residenciales y comerciales tanto de interior como de exterior. Dispone de un amplio mercado internacional siendo una de las empresas con mayor crecimiento y éxito de Europa.

Sobre sus productos se puede decir que disponen de una muy amplia gama de todo tipo y tamaños, que destacan por sus líneas finas y elegantes diseños. También incorporan varios productos orientables y el uso de materiales y acabados varios como acero inoxidable, acero oxidado, granito, basalto, cristal pero fundamentalmente utilizan aluminio.

Se puede decir también que no es una empresa orientada al LED aunque la mayoría de sus productos se han adaptado utilizando módulos LED, más bien se puede decir que es una empresa orientada más al diseño que no a la parte técnica de los mismos ya que la customización de sus balizas es más bien baja.

En resumen se puede decir que dispone de una amplia gama de productos de diseño de una muy buena calidad y cubriendo un amplio rango de necesidades lumínicas, junto con una relación calidad precio muy buena, se entiende ahora la clave de su éxito.

4.2.1.4. Faro

Faro es una empresa de iluminación fundada en 1945 en Barcelona. Tiene una amplia gama de productos clasificados en varias líneas, destaca su línea innovadora de ventilación que incorpora a su vez iluminación y ventilación. Entre sus productos existe una línea dedicada a la iluminación del hogar, de exteriores, distribución de bombillas e iluminación técnica.

Sobre sus productos se puede decir que están más orientados de cara al diseño, ofreciendo geometrías de todo tipo y originales. Hay que destacar que en la línea Outdoor, objeto del estudio de mercado, se encuentra una limitación respecto a los materiales ya que casi todos sus productos están fabricados en aluminio y con difusores de cristal templado, sus elegantes diseños contrarrestan con creces esta posible debilidad.

Por lo referido a la parte técnica ofrecen intensidades de iluminación bajas, con temperaturas de color únicas para cada producto. También se echa en falta parámetros importantes como lo es la vida útil del producto junto con la eficiencia de la luminaria.

Uno de sus puntos fuertes sería el precio ya que no son desorbitados, cosa que le permite competir en el mercado ofreciendo buena relación calidad precio, además de diseños muy elegantes.

4.2.1.5. Leds C4

LEDS C4 es una empresa catalana fundada en 1969 en Torà (Lleida). También dispone de una amplia gama de productos dividida en iluminación indoor, outdoor, decorativa y técnica, aunque a pesar del nombre no todos sus productos funcionan con tecnología LED.

Tiene mercado en más de 140 países con experiencia contrastada en proyectos de iluminación además de ofrecer una gran flexibilidad a la hora de diseñar soluciones a medida. Sobre sus balizas casi todas están fabricadas en aluminio, los diseños son bastante bonitos en general a pesar de que sus balizas más bien son de dimensiones grandes.

Sobre la parte técnica se ve que es de los pocos fabricantes donde se ha observado la utilización de dos TTC diferentes en un mismo producto. Ofrecen productos con amplio rango de intensidades, los datos ofrecidos sobre los productos son muy explícitos a pesar de echar en falta la eficacia luminosa de las luminarias.

En resumen LEDS C4 está más orientada a la parte técnica de la iluminación, ofreciendo soluciones lumínicas de todo tipo y con servicio personalizado al cliente.

4.2.1.6. Lamp Lighting

Lamp Lighting es una empresa catalana fundada en 1972 en Terrassa. Es una empresa con un mercado internacional muy amplio, con filiales en casi todos los continentes, facturando aproximadamente unos 23 millones de euros anuales.

Su portfolio es amplio, tiene los suficientes como para cubrir las necesidades que demanda el mercado. Pero para sus balizas su portfolio es bastante limitado en cuanto a número de productos, ofreciendo solo cuatro familias diferentes pero con un diseño muy minimalista. A pesar de eso cada uno de ellos está muy bien aprovechado, ofreciendo para cada familia tres posibilidades de tamaño,

varias intensidades luminosas, diferentes acabados y alguna variable en cuanto a la reflexión de la luz.

Sobre la parte técnica se ve claramente que está un paso por delante sobre otros fabricantes, ofreciendo más de una opción en cuanto a intensidad luminosa se refiere, factor muy importante según nuestro punto de vista. Casi todos sus diseños usan tecnología LED además de incorporar directamente dicha tecnología en los productos en fase de desarrollo.

En su catálogo se adjuntan las curvas fotométricas, cosa que en muchas de las empresas analizadas no aparece. A pesar de eso, se echa en falta parámetros muy importantes como la eficiencia lumínica y la vida útil del producto.

4.2.1.7. Luxiona

Luxiona es un grupo de iluminación formada por cuatro marcas propias, Troll (iluminación técnica y arquitectónica), Metalarte (iluminación decorativa), Sagelex (iluminación de emergencia) y LED&CO (componentes electrónicos y tecnología LED). Luxiona parte de la creación de una empresa familiar fundada en 1929, especializada inicialmente en la iluminación decorativa para interiores con amplia presencia nacional e internacional.

Su portfolio de productos es más bien limitado, ofreciendo cuatro productos por parte de Metalarte y tres por parte de Troll.

Tienen razón al afirmar que Troll es la parte más técnica, ofreciendo productos con posibilidad de escoger TTC aunque las opciones de flujo luminoso son limitadas ya que disponen solo de tres posibilidades, una por cada producto. Sus diseños son más simples aunque no dejan de ser productos funcionales con un precio muy asequible. Se destaca la incorporación de un producto que funciona con energía solar, se piensa que esta es la evolución del mercado LED para iluminación exterior.

Por parte de Metalarte sus diseños son mucho más complejos y minimalistas, incorporando luminarias en piedra y geometrías muy diferentes en cada producto. Observando su catálogo se echa en falta un parámetro importantísimo como lo es el flujo luminoso, se piensa que es fundamental en iluminación indicar este parámetro, sea cual sea el objetivo de esta iluminación. También se ve que estos productos son mucho más caros. En general Luxiona cumple bien las necesidades del mercado ya que dispone de productos más encorados a la decoración y otros más técnicos.

4.2.2. Sus productos







TABLA 4.2: Productos de la competencia junto con sus datos característicos







	ADRANO	Fabricante	Novolux		NURE	Fabricante	Novolux
		Lúmenes	800 lm			Lúmenes	417 lm
		TTC	3000 K			TTC	4000 K
		Potencia	8 W			Potencia	15 W
		Duración	-			Duración	27.000 h
		Material	Aluminio			Material	Aluminio
		Dimensiones	150x150x650 mm			Dimensiones	Ø173x500 mm
		Tamaño	Mediano			Tamaño	Mediano
		IP / IK	54			IP / IK	65
		Precio	110 €			Precio	199 €
	SUEVIS	Fabricante	Novolux		SIBILA	Fabricante	Novolux
		Lúmenes	540 lm			Lúmenes	450 lm
		TTC	3000 K			TTC	3000 K
		Potencia	7 W			Potencia	5 W
		Duración	-			Duración	30000 h
		Material	Aluminio			Material	Aluminio
		Dimensiones	70x140x650 mm			Dimensiones	160x54x650 mm
		Tamaño	Mediano			Tamaño	Mediano
		IP / IK	54			IP / IK	54 / 5
		Precio	114 €			Precio	130 €
	BINDELLA	Fabricante	Novolux		CASTELLO	Fabricante	Novolux
		Lúmenes	800 lm			Lúmenes	640 lm
		TTC	3000 K			TTC	3000 K
		Potencia	8 W			Potencia	9 W
		Duración	-			Duración	30000 h
		Material	Aluminio			Material	Aluminio
		Dimensiones	Ø165x650 mm			Dimensiones	100x150x495 mm
		Tamaño	Mediano			Tamaño	Mediano
		IP / IK	54			IP / IK	54 / 7
		Precio	125 €			Precio	139 €







ADA 	Fabricante	Novolux	MIRCO 	Fabricante	Novolux
	Lúmenes	660 lm		Lúmenes	1119 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	6 W		Potencia	13 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	PPH
	Dimensiones	Ø145x650 mm		Dimensiones	Ø140x650 mm
	Tamaño	Mediano		Tamaño	Pequeño
	IP / IK	54		IP / IK	65
	Precio	172 €		Precio	204 €
CAIRO 	Fabricante	Novolux	SAUS 	Fabricante	Novolux
	Lúmenes	196 lm		Lúmenes	300 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	7 W		Potencia	3 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio/ Termoplástico
	Dimensiones	Ø9x650/ Ø9x140 mm		Dimensiones	Ø112x136/ 112x400 mm
	Tamaño	Mediano/ Pequeño		Tamaño	Pequeño/ Mediano
	IP / IK	65 / 80		IP / IK	66
	Precio	117/74 €		Precio	181/218 €
PUSH 	Fabricante	Novolux	FIONA 	Fabricante	Novolux
	Lúmenes	800 lm		Lúmenes	1185 lm
	TTC	4000 K		TTC	3000 K
	Potencia	8,7 W		Potencia	9 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Acero/piedra		Material	AISI 316L
	Dimensiones	Ø140x480/ Ø140x140 mm		Dimensiones	Ø140x600/ Ø140x1000 mm
	Tamaño	Mediano/ Pequeño		Tamaño	Mediano/ Grande
	IP / IK	65		IP / IK	65
	Precio	250/217 €		Precio	716/810 €

	PASCUA	Fabricante	Novolux		SAURO	Fabricante	Novolux
		Lúmenes	1100 lm			Lúmenes	700 lm
		TTC	4000 K			TTC	3000/4000 K
		Potencia	9 W			Potencia	7 W
		Duración	-			Duración	-
		Material	Aluminio			Material	Resina
		Dimensiones	100x330x 368 mm			Dimensiones	Ø150x500 mm
		Tamaño	Pequeño			Tamaño	Pequeño
		IP / IK	65/10			IP / IK	55
		Precio	479 €			Precio	72 €
	REIN	Fabricante	Novolux		MINI NICO	Fabricante	Novolux
		Lúmenes	2880 lm			Lúmenes	1100 lm
		TTC	4000 K			TTC	4000 K
		Potencia	26 W			Potencia	9 W
		Duración	-			Duración	-
		Material	Aluminio			Material	Aluminio
		Dimensiones	Ø228x500 mm			Dimensiones	Ø130x650 mm
		Tamaño	Mediano			Tamaño	mediano
		IP / IK	65/9			IP / IK	65/8
		Precio	726 €			Precio	463 €
	67348	Fabricante	One Light		TRAPECCO	Fabricante	SLV
		Lúmenes	172 lm			Lúmenes	850 lm
		TTC	3000 K			TTC	3000 K
		Potencia	5 W			Potencia	9,8 W
		Duración	-			Duración	20000 h
		Material	Aluminio			Material	Aluminio
		Dimensiones	Ø90x200 mm			Dimensiones	290x240x 900 mm
		Tamaño	Pequeño			Tamaño	Grande
		IP / IK	54			IP / IK	44
		Precio	115,5 €			Precio	299 €

67344 	Fabricante	One Light	VAP 	Fabricante	SLV
	Lúmenes	340 lm		Lúmenes	320 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	10 W		Potencia	6,7 W
	Duración	-		Duración	30000 h
	Material	Aluminio		Material	AISI 316
	Dimensiones	Ø210x750 mm		Dimensiones	Ø120x300 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Pequeño
	IP / IK	54		IP / IK	44
	Precio	165 €		Precio	390 €
67034 	Fabricante	One Light	HELIA 	Fabricante	SLV
	Lúmenes	131 lm		Lúmenes	470 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	12 W		Potencia	8,6 W
	Duración	-		Duración	30000 h
	Material	Aluminio		Material	AISI 316
	Dimensiones	Ø120x850 mm		Dimensiones	Ø120x850 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Grande
	IP / IK	54		IP / IK	55
	Precio	201 €		Precio	284 €
67358 	Fabricante	One Light	BOOKAT 	Fabricante	SLV
	Lúmenes	262 lm		Lúmenes	520 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	7 W		Potencia	12,5 W
	Duración	-		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø90x200 mm		Dimensiones	300x100 mm
	Tamaño	Pequeño		Tamaño	Pequeño
	IP / IK	65		IP / IK	44
	Precio	132 €		Precio	432 €

ENOLA_C 	Fabricante	SLV	IPERI 50 	Fabricante	SLV
	Lúmenes	800 lm		Lúmenes	320 lm
	TTC	3000 K		TTC	4000 K
	Potencia	9 W		Potencia	4 W
	Duración	30000 h		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	120x500 mm		Dimensiones	127x174x502 mm
	Tamaño	Mediano		Tamaño	Mediano
	IP / IK	55		IP / IK	44
	Precio	333 €		Precio	136 €
BENDO 	Fabricante	SLV	SLOTS 	Fabricante	SLV
	Lúmenes	700 lm		Lúmenes	200 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	10 W		Potencia	6,3 W
	Duración	40000 h		Duración	25000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	210x350x800 mm		Dimensiones	Ø90x465/ Ø90x665 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Pequeño/ Mediano
	IP / IK	55		IP / IK	44
	Precio	495 €		Precio	173/198 €
RUSTY SLOT 	Fabricante	SLV	RUSTY SQUARE 	Fabricante	SLV
	Lúmenes	470 lm		Lúmenes	470 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	8,6 W		Potencia	8,6 W
	Duración	35000 h		Duración	35000 h
	Material	Acero corten		Material	Acero corten
	Dimensiones	120x120x500/ 120x120x800 mm		Dimensiones	120x120x400/ 120x120x700 mm
	Tamaño	Mediano/ Grande		Tamaño	Mediano/ Grande
	IP / IK	54		IP / IK	55
	Precio	390/510 €		Precio	390/470 €






	GRAFIT	Fabricante	SLV		Fabricante	SLV
		Lúmenes	806 lm		Lúmenes	320 lm
		TTC	2700 K		TTC	3000 K
		Potencia	9,5 W		Potencia	4,5 W
		Duración	-		Duración	35000 h
		Material	Aluminio		Material	Aluminio
		Dimensiones	85x85x300 /600 mm		Dimensiones	120x70x400 /700 mm
		Tamaño	Peq./Med.		Tamaño	Peq./Med.
		IP / IK	44		IP / IK	44
		Precio	71,5/94 €		Precio	196/261 €
	ARROCK STONE	Fabricante	SLV		Fabricante	SLV
		Lúmenes	330 lm		Lúmenes	200 lm
		TTC	3000 K		TTC	3000 K
		Potencia	6 W		Potencia	6,3 W
		Duración	30000 h		Duración	-
		Material	Basalto		Material	Aluminio
		Dimensiones	120x120x500 /750 mm		Dimensiones	Ø90x465 /665 mm
		Tamaño	Med./Grande		Tamaño	Peq./Med.
		IP / IK	44		IP / IK	44
	ROX ACRYL POLE	Fabricante	SLV		Fabricante	SLV
		Lúmenes	806 lm		Lúmenes	1200 lm
		TTC	2700 K		TTC	2700 K
		Potencia	9,5 W		Potencia	20 W
		Duración	-		Duración	-
		Material	Aluminio		Material	Aluminio/ Cristal
		Dimensiones	Ø125x300 /600/900 mm		Dimensiones	Ø200x270 /440/700 mm
		Tamaño	Peq./Med./ Grande		Tamaño	Peq./Med./ Grande
		IP / IK	44		IP / IK	44
		Precio	325/430/ 456 €		Precio	124/161/ 198 €

NAYA 	Fabricante	Faro	AGRA 	Fabricante	Faro
	Lúmenes	180 lm		Lúmenes	420 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	8 W		Potencia	10 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	120x120x205 /80 mm		Dimensiones	108x108x200 /650 mm
	Tamaño	Pequeño/ Mediano		Tamaño	Pequeño/ Mediano
	IP / IK	54		IP / IK	54
	Precio	89,2/114,2 €		Precio	137,5/188,9 €
SHELBY 	Fabricante	Faro	ALP 	Fabricante	Faro
	Lúmenes	600 lm		Lúmenes	220 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	10 W		Potencia	8 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Acero inoxidable
	Dimensiones	Ø190x330 /630 mm		Dimensiones	150x60x500 /800 mm
	Tamaño	Pequeño/ Mediano		Tamaño	Mediano/ Grande
	IP / IK	65		IP / IK	54
	Precio	156/177 €		Precio	136,5/161,7 €
NEO 	Fabricante	Faro	CHANDRA 	Fabricante	Faro
	Lúmenes	310 lm		Lúmenes	195 lm
	TTC	4000 K		TTC	3000 K
	Potencia	5 W		Potencia	7 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	80x120x400 /600 mm		Dimensiones	Ø90x450 mm
	Tamaño	Pequeño/ Mediano		Tamaño	Pequeño
	IP / IK	44		IP / IK	54
	Precio	93,64/106,5 €		Precio	113 €

SETE 	Fabricante	Faro	YAK 	Fabricante	Faro
	Lúmenes	155 lm		Lúmenes	630 lm
	TTC	3000 K		TTC	4000 K
	Potencia	6 W		Potencia	6 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø145x 250 mm		Dimensiones	255x130x 400 mm
	Tamaño	Pequeño		Tamaño	Pequeño
	IP / IK	54		IP / IK	44
	Precio	160,02 €		Precio	150,5 €
JAIPUR 	Fabricante	Faro	MILA 	Fabricante	Faro
	Lúmenes	420 lm		Lúmenes	500 lm
	TTC	3000 K		TTC	4000 K
	Potencia	6 W		Potencia	18 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø90x200 mm		Dimensiones	220x220x 249 mm
	Tamaño	Pequeño		Tamaño	Pequeño
	IP / IK	65		IP / IK	65
	Precio	117,6 €		Precio	231 €
COMPACT 	Fabricante	LEDS C4	SIMENTI 	Fabricante	LEDS C4
	Lúmenes	2022 lm		Lúmenes	1261 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	17 W		Potencia	9 W
	Duración	50000 h		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø210x206 mm		Dimensiones	180x185x 700 mm
	Tamaño	Pequeño		Tamaño	Mediano
	IP / IK	65/10		IP / IK	65
	Precio	229 €		Precio	199,95 €

CUBIK 	Fabricante	LEDS C4	NEWTON LED 	Fabricante	LEDS C4
	Lúmenes	1520 lm		Lúmenes	1205 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	15 W		Potencia	13 W
	Duración	50000 h		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	150x150x201/ 650 mm		Dimensiones	Ø160x250/ 800 mm
	Tamaño	Pequeño/ mediano		Tamaño	Pequeño/ Grande
	IP / IK	65		IP / IK	65
	Precio	181,95/ 259,95 €		Precio	248,98/ 313,95 €
CILIN 	Fabricante	LEDS C4	HELION 	Fabricante	LEDS C4
	Lúmenes	1140/1300 lm		Lúmenes	818 lm
	TTC	3000/4000 K		TTC	3000 K
	Potencia	13,5 W		Potencia	9 W
	Duración	50000 h		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø120x800 mm		Dimensiones	Ø180x750 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Grande
	IP / IK	65		IP / IK	65/6
	Precio	303,65 €		Precio	217,6 €
MÜLLER 	Fabricante	LEDS C4	SPACE 	Fabricante	LEDS C4
	Lúmenes	975 lm		Lúmenes	650 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	8,7 W		Potencia	7,5 W
	Duración	50000 h		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	190x100x 800 mm		Dimensiones	130x130x 800 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Grande
	IP / IK	54		IP / IK	54
	Precio	303,95 €		Precio	166,95 €

SETI SOFT 	Fabricante	Lamp	SETI SPOT 	Fabricante	Lamp
	Lúmenes	19 a 82 lm		Lúmenes	80 a 214 lm
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	3 a 6 W		Potencia	2 a 4 W
	Duración	50000 h		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	39x500/ 900 mm		Dimensiones	39x500/ 900 mm
	Tamaño	Med./Grande		Tamaño	Med./Grande
	IP / IK	65/8		IP / IK	65/8
	Precio	525/645 €		Precio	315/345 €
B-SIDE 	Fabricante	Lamp	B-SIDE 360º 	Fabricante	Lamp
	Lúmenes	93 a 171 lm		Lúmenes	451 a 858 lm
	TTC	4000 K		TTC	4000 K
	Potencia	2.4 y 4.8 W		Potencia	9 y 23 W
	Duración	50000 h		Duración	50000 h
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø160x135/ 450/850 mm		Dimensiones	Ø160x250/ 450/850 mm
	Tamaño	Peq./Med./ Grande		Tamaño	Peq./Med./ Grande
	IP / IK	65/10		IP / IK	65/10
	Precio	125,5/226,15/ 238 €		Precio	290/355/385 €
NAWA 	Fabricante	Luxiona (M)	DOJO 	Fabricante	Luxiona (M)
	Lúmenes	-		Lúmenes	-
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	10 W		Potencia	8,5 y 17 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	100x100x800/ 1250 mm		Dimensiones	250x250x250/ 550x550x550 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Pequeño/ Mediano
	IP / IK	65		IP / IK	65
	Precio	475/550 €		Precio	675/1295 €

OLIVER 	Fabricante	Luxiona (M)	ROLLING 	Fabricante	Luxiona (M)
	Lúmenes	-		Lúmenes	-
	TTC	3000 K		TTC	3000 K
	Potencia	8.5 W		Potencia	8,5 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Piedra		Material	Piedra
	Dimensiones	Ø160x300/ Ø250x300/ 540 mm		Dimensiones	Ø160x480 mm
	Tamaño	Pequeño/ Mediano		Tamaño	Mediano
	IP / IK	65/8		IP / IK	54
	Precio	410/510/565€		Precio	489 €
POLAR 	Fabricante	Luxiona (T)	MARK 	Fabricante	Luxiona (T)
	Lúmenes	800 lm		Lúmenes	400 lm
	TTC	3000 y 4000 K		TTC	3000 y 4000 K
	Potencia	9 W		Potencia	6 y 7 W
	Duración	-		Duración	-
	Material	Aluminio		Material	Aluminio
	Dimensiones	Ø118x800 mm		Dimensiones	1200x40x650 mm
	Tamaño	Grande		Tamaño	Mediano
	IP / IK	65/8		IP / IK	54
	Precio	150 €		Precio	115 €
SOLAR 	Fabricante	Luxiona (T)			
	Lúmenes	320			
	TTC	3000 y 4000 K			
	Potencia	2.5 W			
	Duración	-			
	Material	Aluminio			
	Dimensiones	190x172x650 mm			
	Tamaño	Mediano			
	IP / IK	65/8			
	Precio	280 €			

Fuentes: referencias de la A9.11 a la A9.16

4.2.3. Análisis del estudio

Una vez hecho el estudio de los productos ofrecidos por la competencia se analizan los datos obtenidos para ver las tendencias que hay en el mercado. En este estudio se han analizado un total de 65 productos o gamas de producto, no diferenciando como dos productos diferentes las diferentes configuraciones disponibles.

En el siguiente gráfico se ve el número de productos ofrecidos por cada uno de los fabricantes junto con su peso porcentual, SLV y Novolux son los fabricantes con mayor portfolio disponible para satisfacer un amplio rango de necesidades lumínicas.

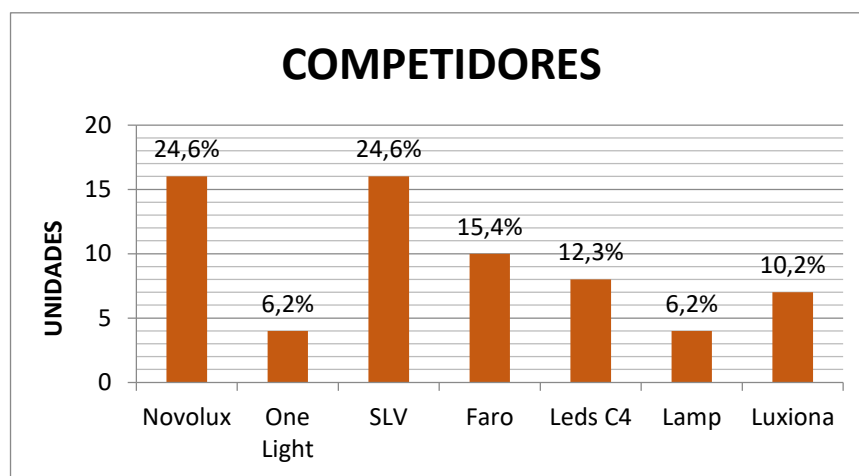


Gráfico 4.1. Porcentaje de oferta de productos según el fabricante

Respecto al material predomina por completo el uso de aluminio en cuanto a la fabricación de bolardos, le sigue el acero, la piedra y los materiales plásticos.

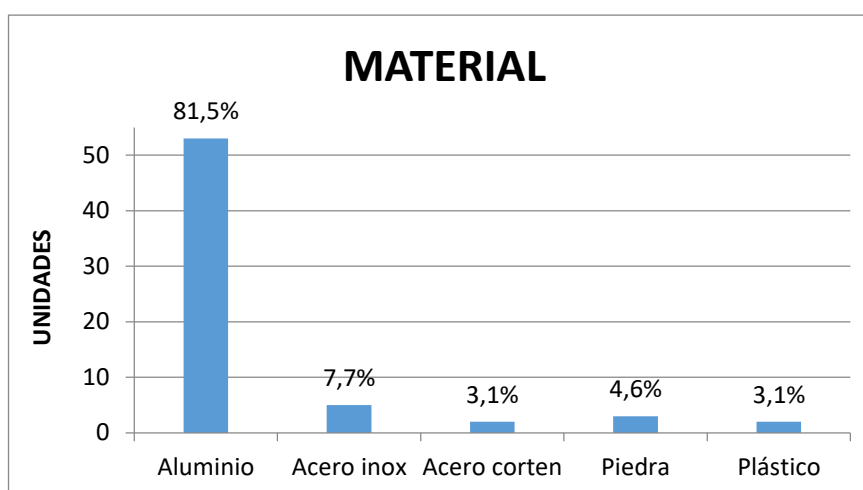


Gráfico 4.2. Porcentaje de productos según el material de fabricación

Sobre la temperatura de color se observa como predomina el uso de los 3000K, una temperatura clasificada como cálida siendo razonable su uso para la labor desempeñada por la luminaria. También se utilizan TTC de 2700K (más cálida que la anterior) y de 4000K (neutra).

Un punto importante a destacar es la poca variabilidad de las TTC para los modelos de luminarias ofrecidas, tan solo el 7.7% de los productos ofrecen la posibilidad de escoger entre una TTC de 3000 o 4000K, sin opción a emplear temperaturas frías si el cliente así lo desea.

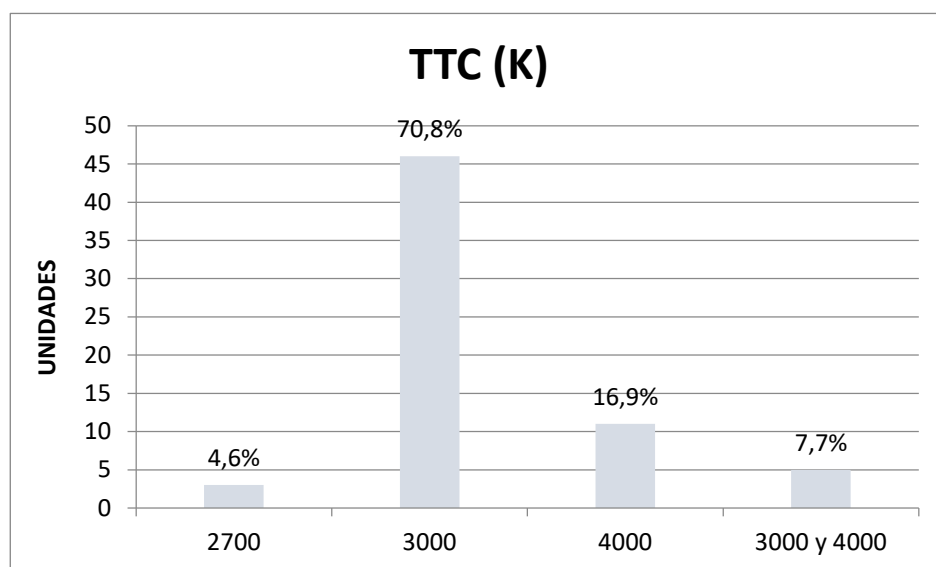


Gráfico 4.3. Porcentaje de oferta según la TTC

En el estudio de la intensidad luminosa se hace más hincapié ya que es un punto al que prestarle especial atención. El rango de 250 a 450 lm es el más empleado, como se comentó anteriormente en la iluminación outdoor a veces lo que se busca es simplemente un poco de luz o señalizar caminos, es decir, posibilidades que requieren de poca cantidad de luz.

Desde nuestro punto de vista, una iluminación baja tendría de límite los 450 lm, una iluminación media los 800 lm y una iluminación alta más de 800. Si se suman las columnas del gráfico 4.4, según los rangos estipulados se obtiene: 40.6% iluminación baja, 32.2% iluminación media y un 27.2% para iluminación alta.

Es aquí donde se puede ver que hay una distribución homogénea en la cantidad de luz ofrecida a pesar de predominar más la baja iluminación. Por el contrario este es un estudio conjunto sin diferenciar entre los diferentes fabricantes, si lo hiciese se vería como la oferta de lúmenes dejaría de ser tan homogénea ya que algunos fabricantes utilizan muy poca cantidad de lúmenes en sus luminarias y otros emplean una iluminación muy alta.

Otro punto a destacar es que en el 10.2% de los productos bajo estudio no se menciona la cantidad de lúmenes ofrecidos, esto podría deberse por la posible utilización de bombilla LED en vez de LED integrado. Sabiendo esto se ha realizado una búsqueda de información más extensa llegando a la conclusión que en la mayoría de los casos el LED está integrado pero sin referencia alguna sobre la cantidad de luz proporcionada.

Por último se destaca como un escaso 8.5% de los productos ofrecen diferente cantidad de luz dentro de un mismo modelo de producto, factor importantísimo ya que no se debería excluir o negar la compra de un producto que guste al consumidor por el hecho de que éste no cumpla con las necesidades lumínicas requeridas.

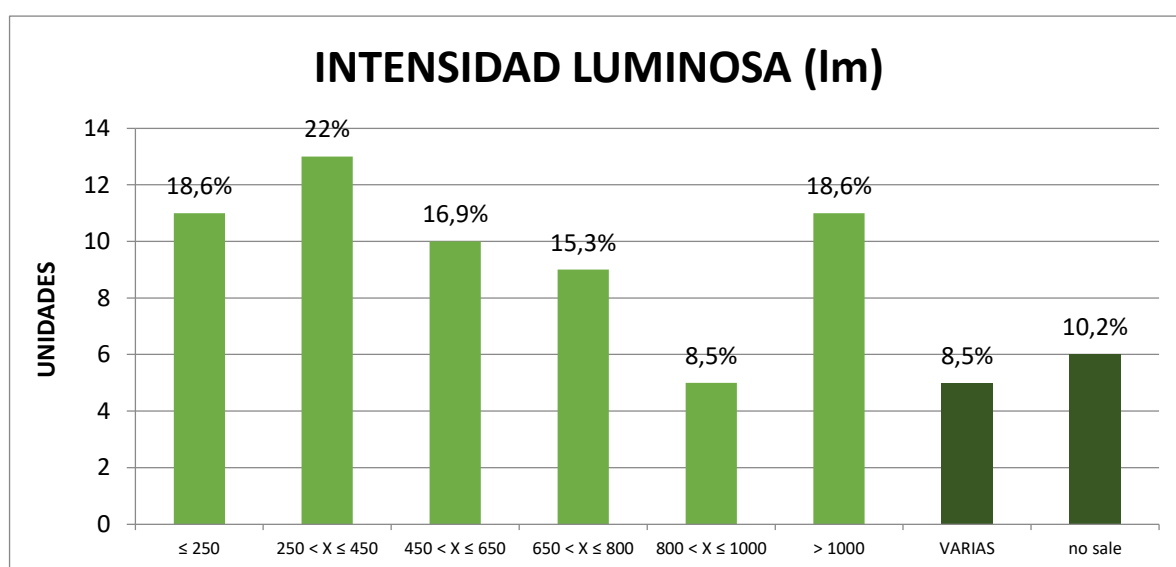


Gráfico 4.4. Porcentajes según la intensidad luminosa de los productos analizados

El precio es otro punto importante a estudiar y uno de los factores más determinantes a la hora de escoger un producto, un 40.6% tiene un precio comprendido entre los 120 y 450 euros, seguido del rango que va de los 450 a los 800 con un peso porcentual del 32.2%.

Se trata de un producto con un precio elevado siendo tan solo el 17% de ellos los más asequibles. Para poder competir contra ellos deberíamos situarnos en un nivel medio, ya que lo más importante es el hecho de ofrecer un producto de buena calidad con un precio lo más ajustado posible, sin dejar de lado el hecho de que se trata de un producto de diseño.

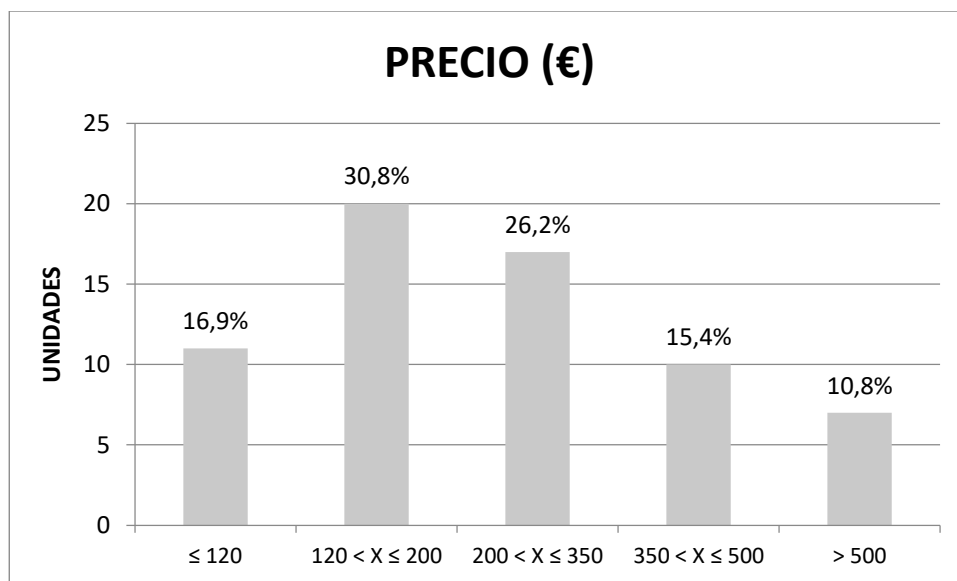


Gráfico 4.5. Porcentaje de oferta según el precio

Sobre el grado de protección IP hay poco a comentar ya que es obligatorio el cumplimiento de la normativa actual que pide un nivel igual o superior a IP44. Contra más estanco sea el producto, mejor protegido estará y, como consecuencia, el rendimiento de la luminaria será mayor y su vida útil más longeva.

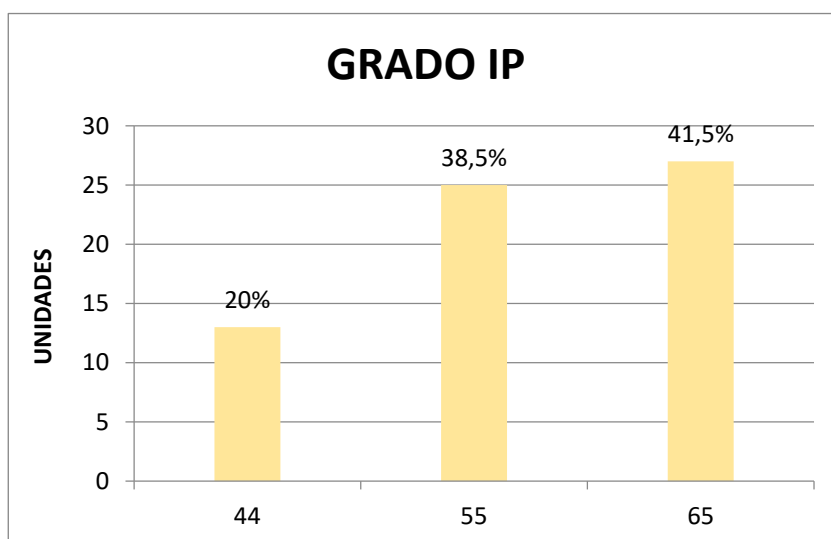


Gráfico 4.6. Peso porcentual según el grado de estanqueidad proporcionado

Estudiando la vida útil de los productos no se entiende como el 52.3% de los productos no indica la cantidad de horas en servicio que proporciona su luminaria, parámetro fundamental para el cliente y para mantener un control adecuado del mantenimiento. Por otro lado abundan las luminarias comprendidas entre las 35000 y las 50000 h en servicio.

A pesar de ser pocas las luminarias por debajo de 27000 h hay que tener en cuenta que se habla de periodos igualmente longevos de aproximadamente unos 3 años de duración, a pesar de eso se piensa que ya que se está ofreciendo un producto de alta eficiencia, ahorro económico y sostenible se ha de cumplir con las 50000h de vida útil establecidas por normativa.

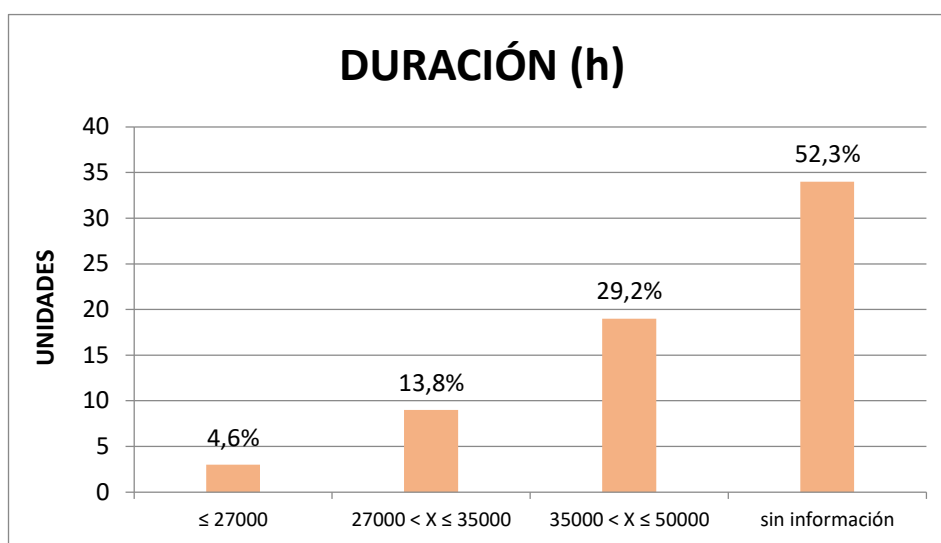


Gráfico 4.7. Peso porcentual de la oferta según su vida útil

Según las dimensiones la mayoría del mercado ofrece productos de tamaño medio seguido de la posibilidad de tener una variación del producto en una dimensión más reducida. Pero el hecho de ofrecer diferentes configuraciones dentro de la misma familia de producto es una manera de ampliar fácilmente el portfolio y ofrecer un producto más adaptado a las necesidades de cada uno de los clientes.

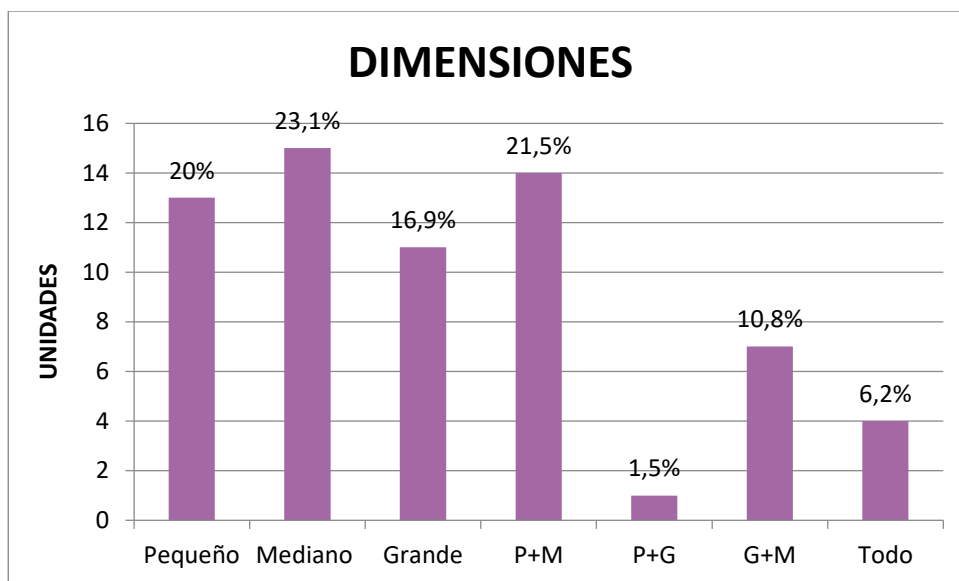


Gráfico 4.8. Porcentaje de los tamaños de la oferta (P: pequeño, M: mediano, G: grande)

4.2.4. Conclusiones del estudio

Para concluir con este apartado se realiza un pequeño análisis estadístico sobre los datos obtenidos relacionados con las cantidades de interés más importantes, éstas son la intensidad luminosa, la potencia, la vida útil y el precio de las luminarias.

En la siguiente tabla se ven los valores máximos y mínimos encontrados, así como el rango, la mediana, el promedio y la moda, siendo estos dos últimos parámetros una buena guía para el desarrollo de nuestro producto.

TABLA 4.3: Recogida de los datos obtenidos según el estudio de mercado

	INTENSIDAD (lm)	DURACIÓN (h)	POTENCIA (W)	PRECIO (€)
Máximo	2880	50000	26	1295
Mínimo	19	25000	2	71,5
Rango	2861	25000	24	1223,5
Mediana	470	50000	8,6	222
Promedio	600,5	41567	8,9	301,5
Moda	800	50000	9	390

Por lo tanto, fijándonos en la intensidad luminosa se ve como el promedio de productos está en torno a los 600 lm siendo lo más habitual la utilización de los 800 lm. Por este motivo se diseñará un producto capaz de dar valores lumínicos entre unos 600 y 800 lm.

Referente a la duración existe la voluntad de llegar a las 50000h en servicio y sobre la potencia situarnos en valores próximos a los 10 W. La moda y el precio promedio obtenidos se consideran adecuados, esto nos sirve para fijar un valor límite que no se puede sobrepasar si lo que se quiere es competir en el mercado.

El estudio de otros factores como el material, la TTC y las dimensiones ha sido de gran ayuda para fijar también el rumbo a seguir. Los materiales empleados nos dejan libre elección en cuanto al diseño, dependiendo su selección del proceso de fabricación y del acabado que se quiera dar según la estética pero siempre cumpliendo con el requerimiento de estar protegido contra la corrosión.

El estudio de las TTC nos muestra como no es usual la posibilidad de tener un producto que ofrezca varias opciones, aprovechando esta debilidad del mercado se incorpora esta posibilidad para ofrecer así un producto más adaptable al cliente.

Por último, algo ya comentado es la creación de una familia de productos capaz de cubrir con posibles necesidades en cuanto al lugar de instalación o escenario a iluminar.

4.3. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas son la traducción de los requisitos del cliente, un lenguaje más coloquial, a especificaciones o parámetros más técnicos, en nuestro caso a parámetros de carácter lumínico que nos ayudarán a dar nuestros primeros pasos en este proceso de diseño por ser la referencia a seguir y satisfacer así a nuestro cliente.

A continuación se muestra en la tabla 4.4 las especificaciones técnicas para el diseño de la luminaria dónde se relaciona cada requisito demandado por el cliente con sus respectivas especificaciones. El análisis y las conclusiones obtenidas del estudio de mercado previo sirven de base para fijar algunas de nuestras especificaciones.

Además, en Vecxa tenemos nuestros propios requisitos a la hora de diseñar los cuales se traducen en unas especificaciones técnicas definidas, éstas se añaden a las anteriores en la tabla 4.5.

TABLA 4.4: Relación requisitos del cliente y especificaciones técnicas a aplicar

REQUISITOS	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Luminaria para uso exterior	Estanqueidad mínima de IP44 y aguante a los impactos mínimo de IK8.
Buena iluminación	Flujo luminoso difuso entorno a los 600-800 lúmenes con un rango amplio de TTC (2700, 3000, 4000 y 5700 K).
Seguridad	IP44, IK8 (anteriores), protección contra choques eléctricos, compatibilidad electromagnética (FP >0.5 y THD <20%), marcado CE y cumplir con la normativa actual.
Ahorro económico	Utilización de tecnología LED con bajo consumo y elementos reemplazables por el fabricante.
Durabilidad	Vida útil de 50000h en servicio con mantenimiento del flujo de L70F10.
Diseño elegante	Diseño con un acabado en color negro. Opción de escoger entre dos alturas, mediana o grande.

TABLA 4.5: Relación requisitos de Vecxa y especificaciones técnicas a aplicar

REQUISITOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
Sostenibilidad	Modularidad y reutilización de los componentes que forman las luminarias.
Funcionalidad	Diseños adaptados a minimizar el tiempo de ensamblaje, instalación y mantenimiento posterior.
Calidad	Alta eficiencia energética ($\approx 80\%$) y eficacia de la luminaria ($>90 \text{ lm/W}$) y factor de potencia >0.8 .
Versiones de producto	Proporcionar alimentación tanto AC como DC además de variantes en TTC.
Volumen de ventas pequeño	Producción de series cortas, en concreto de unas 20 unidades (bajo demanda)

4.4. Estética del producto

Una vez se tiene claro que es lo que se quiere hacer hay que plantear las líneas generales del producto (forma y proporciones). Para ello se hace una selección entre diferentes opciones planteadas por el estudio de diseño Khamai, se escoge el siguiente diseño.



Figura 4.1. Diseño estético desde diferentes perspectivas, modelo pequeño y mediano (Fuente: Propia)

La luminaria tendrá un diámetro de 10 cm y una altura de 60 cm para la versión mediana y 40 cm para la pequeña. El corte dónde aparece el difusor será de unos 40 cm de amplitud y 250 o 350 cm de longitud. Estas son unas dimensiones aproximadas y el diseño puede ser levemente modificado según las dificultades o necesidades que aparezcan durante su proceso de desarrollo.

5. DESARROLLO DEL PRODUCTO

En este capítulo se explicará de forma detallada todo lo relacionado con el desarrollo del producto. El desarrollo se divide en cinco partes: parte mecánica, parte lumínica, parte eléctrica y electrónica, componentes y puntos críticos de la luminaria. Esta fase de desarrollo es una continua interconexión entre las partes citadas anteriormente, siguiendo un proceso iterativo de validación de los componentes y de diseño de las diferentes piezas cada vez que se toma una decisión.

5.1. Parte mecánica

Se denomina parte mecánica a la parte estructural o cuerpo de la luminaria encargada de cumplir con todas las prestaciones mecánicas, estéticas y de protección requeridas por nuestra fuente de luz LED y todos los componentes necesarios para un funcionamiento óptimo.

La luminaria se divide en cuatro subconjuntos básicos y uno complementario, los básicos son: carcasa, difusor, soporte y base. El subconjunto complementario es un anclaje que se venderá de forma independiente a la luminaria para fijar ésta en suelos de jardín o en lugares de obra nueva donde se requiera la cimentación del anclaje para realizar correctamente su fijación.

En la tabla 5.1 se muestran los diferentes subconjuntos, sus piezas y el número de unidades que forman cada uno de los subconjuntos. En los próximos apartados se desarrolla en profundidad los diferentes subconjuntos, desde la selección del material para cada una de las piezas pasando por su proceso de fabricación y selección del producto en bruto.

También se muestran los diagramas de operaciones necesarias para la obtención de cada conjunto además de verse más detalladamente en el punto 6.5. El punto 9.1 de esta memoria refuerza la justificación de los materiales y los procesos de fabricación aquí seleccionados.

De cara al diseño se parte de la base del uso de perfiles estándares existentes en el mercado para facilitar la búsqueda de semiproductos en diferentes proveedores y evitar una posible falta de abastecimiento de material y sobrecostes innecesarios de cara a la fabricación. En cuanto al uso de materiales las aleaciones utilizadas vienen determinadas por el tipo de semiproducto ofrecido por el proveedor.

TABLA 5.1: Subconjuntos y piezas que forman la luminaria

Nº subconjunto	Nombre subconjunto	Piezas	Unidades/ luminaria
1	Carcasa	Tubo carcasa	1
		Tapa carcasa	2
2	Difusor	Tubo difusor	1
		Tapa difusor	1
3	Soporte	Unión soporte	1
		Soporte driver	1
		Soporte tira LED	1
		Reflector soporte	4
		Varilla soporte	3
4	Base	Pieza base	1
		Embellecedor base	1
5	Anclaje	Pletina anclaje	1
		Perno en J anclaje	4

5.1.1. Subconjunto 1: carcasa

Este primer subconjunto está formado por tres piezas de acero inoxidable AISI 316L, éstas son el tubo y dos tapas que formarán una única pieza. La pieza conjunto carcasa tiene forma tubular cerrada por un extremo junto con un corte longitudinal, obertura por donde se distribuirá la luz a través del difusor.

La unión entre las diferentes piezas se realiza mediante soldadura TIG además de realizarse un agujero roscado en la parte lateral inferior. Una vez soldado se pulirá obteniendo así una superficie uniforme para posteriormente pintarla con pintura negra plástica de tipo epoxi.

En las imágenes de la 5.1 a la 5.3 se muestra la geometría de las piezas y del conjunto completo, además en la tabla 5.2 se facilita el código de plano y la marca para cada una de las piezas según los planos del volumen II. La soldadura del conjunto se realiza soldando las aristas superiores de las piezas tapa carcasa y tubo carcasa de manera que no quede a la vista la holgura existente entre ellas, la figura 5.4 muestra los cordones de soldadura.

TABLA 5.2: Despiece subconjunto 1

Nombre pieza	Código	Marca
Tubo carcasa	C1-D01	5
Tapa carcasa	C1-D02	4
Conjunto carcasa	C1	-

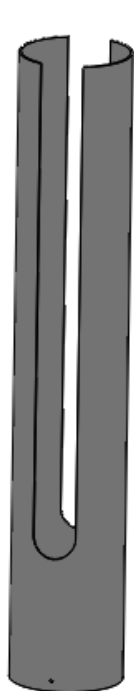


Figura 5.2. Tubo carcasa (Fuente: propia)

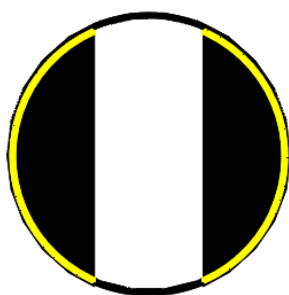


Figura 5.4. Cordones de soldadura (Fuente: propia)



Figura 5.1. Tapa carcasa (Fuente: propia)



Figura 5.3. Conjunto explosionado (Fuente: propia)

5.1.1.1. Selección de material

A la hora de seleccionar el material para nuestro conjunto hay que tener en cuenta los siguientes requisitos. La carcasa es una parte expuesta a los agentes atmosféricos por lo tanto nuestro material tiene que ser resistente a la oxidación y corrosión, resistente al desgaste además de tener la resistencia mecánica y la rigidez suficiente para aguantar las fuerzas producidas por la acción del viento u otras fuerzas ejercidas, ya sea por actos vandálicos u otro uso indebido de la luminaria sin producir deformaciones o daños excesivos.

Por otro lado es importante que el material resista temperaturas entorno a los 100-110 °C, ya que en caso de falla en la disipación de calor y junto con la influencia de una temperatura ambiente elevada, el material sea capaz de resistir a la termofluencia.

Con los requerimientos citados anteriormente se opta por hacer una selección más exhaustiva dentro del grupo de los metales por sus buenas propiedades mecánicas, su conformabilidad, su tenacidad y su resistencia a la corrosión, a pesar de necesitar tratamientos o alearse para lograrlo. Se Dejando de lado los materiales plásticos ya que, a pesar de que algunos son buenos candidatos y cumplen con los requisitos expuestos, tienen la desventaja de que algunas superficies expuestas al sol tienden a amarillear si son blancas o desteñirse si tienen color, reduciendo el ciclo de vida del conjunto a causa de la degradación, además de la cedencia o fluencia que se pueda generar en unas condiciones de trabajo límites ya que los plásticos tienen una temperatura de fusión mucho más baja.

Por lo tanto se opta por candidatos como el aluminio, acero inoxidable, hierro o fundiciones, siendo los dos primeros los materiales más empleados en el ámbito de la iluminación exterior por sus propiedades frente a la corrosión.

En la tabla 5.3 se muestran las propiedades generales para los dos materiales sujetos a estudio, los valores numéricos que aparecen pueden variar mucho dependiendo del tipo de aleación que finalmente se escoja. Si nos guiamos por las propiedades mecánicas el acero es muy superior a pesar de que los dos materiales cumplen satisfactoriamente con los requisitos expuestos ya que los esfuerzos a los que se somete la luminaria no son muy exigentes.

Por lo tanto, a la hora de seleccionar el material serán otras las propiedades determinantes. La resistencia a la corrosión del acero inoxidable es superior ya que evita (generalmente) cualquier tipo de corrosión y el aluminio necesita de tratamientos para ofrecer una protección similar y no todas sus aleaciones se comportan de igual manera.

La maquinabilidad, conformación y soldabilidad del metal también serán determinantes, a pesar de que el acero es algo más complicado de conformar por su resistencia y su temperatura de fusión elevadas, ofrece la posibilidad de soldar más fácilmente, factor decisivo a la hora de seleccionar este material como el óptimo para nuestra carcasa por su proceso de fabricación mediante unión soldada.

TABLA 5.3: Propiedades acero inoxidable y aleaciones de aluminio.

Propiedades	Acero inoxidable	Aleaciones de aluminio
Densidad	8	2.7
Módulo de Young (GPa)	210	71
Límite elástico (MPa)	220-1500	25-600
Resistencia a la tracción (MPa)	552	186
Calor específico (J/Kg·K)	502	900
Coefficiente dilatación térmica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$16 \cdot 10^{-6}$	$23.6 \cdot 10^{-6}$
Conductividad térmica (W/m·K)	16.3	226
Conductividad eléctrica	$1.4 \cdot 10^6$	$29 \cdot 10^6$
Temperatura de fluencia ($^{\circ}\text{C}$)	400-600	150-250
Precio (€/Kg)	5.5-6.5	3.5-4
Resistencia a la corrosión	Buena-muy buena	Buena, necesidad de tratamiento según tipo de corrosión
Resistencia al desgaste	Muy buena	Normal- baja
Soldabilidad	Buena	Compleja
Maquinabilidad	Buena	Muy buena
Conformación	Buena	Muy buena
Reciclaje	100% reciclable	100% reciclable

Nota: Datos obtenidos de "Material Selection in mechanical design, F.Ashby" y "Ciencia de materiales, Mangonon"

Los aceros inoxidable se clasifican según su estructura interna en ferríticos, austeníticos y martensíticos, también existen los aceros dúplex o súper dúplex con unas propiedades mecánicas mejoradas.

Pero los grados más utilizados son los llamados grados austeníticos estándares y sus correspondientes versiones bajas en carbono (304/316/304L/316L). La selección final del material será la de AISI 316L debido a que sus propiedades mecánicas son más que suficientes (como cualquier acero inoxidable) pero sobre todo por su gran comportamiento frente a la corrosión, corrosión en ambientes salinos, corrosión intergranular y corrosión por picaduras.

5.1.1.2. Proceso de fabricación

La selección del material y el proceso de fabricación siempre van de la mano ya que dependiendo de las propiedades del material pueden ser aptos o no para un proceso de fabricación determinado. Dentro de los métodos más utilizados para la conformación de metales se analiza la fabricación de la carcasa por fundición, embutición y unión soldada.

En la tabla 5.4 se ven los puntos fuertes y débiles de cada uno de los procesos anteriores y es evidente que la fabricación de nuestra carcasa mediante la unión soldada de varias piezas es mucho más rentable que cualquier otro proceso ya que el coste de producción es mucho menor al no utilizar moldes o matrices pero, sobre todo, su fabricación es corta y sencilla.

A la hora de realizar la soldadura por arco eléctrico TIG se decide soldar las piezas por la cara interna superior del tubo y que la superficie superior quede a ras, de esta manera es más fácil el encaje de las piezas evitando el cambio de sección de una a otra.

5.1.1.3. Selección del semiproducto y operaciones a realizar

Como nuestro conjunto está formado por dos piezas distintas hay que seleccionar el semiproducto más conveniente y programar las operaciones necesarias para cada una de las piezas de manera independiente.

Para el tubo se ha seleccionado un tubo de medidas estándar con un diámetro de 104 mm, espesor de pared de 2 mm y longitud de semiproducto de 6 m, de esta manera se facilitan los plazos de entrega ya que son productos que normalmente están en stock. Además se puede encontrar este semiproducto en varios proveedores y tener la opción de escoger según el precio más competitivo, en este caso nuestro proveedor es LUMETAL, encargado de nuestro suministro de tubos y barras metálicas.

TABLA 5.4: Posibles métodos de fabricación para subconjunto 1

FUNDICIÓN	EMBUTICIÓN	UNIÓN SOLDADA
<p>Los aceros inoxidables tienen una fusibilidad regular. ✗</p> <p>-Las propiedades mecánicas se ven reducidas debido a la porosidad. ✓</p> <p>-Acabados superficiales y precisiones desde aceptables hasta excelentes, dependiendo del tipo de moldeo. ✓</p> <p>-Tiempo de fabricación lento debido a la solidificación. ✗</p> <p>-Necesidad de sobredimensionamiento ya que el acero tiene una contracción de 25 mm/m. ✓</p> <p>-Ángulo de salida del molde. ✗</p> <p>-Empleo de moldes, coste elevado pero fácilmente amortizable para series largas. ✓</p> <p>-Geometría final directa. ✓</p>	<p>-Fuerzas de conformación elevadas, implica un coste de fabricación elevado. ✗</p> <p>-No adecuado para piezas muy profundas, muchos pasos de embutición y empleo de varias matrices. ✗</p> <p>-Coste elevado en matriceria. ✗</p> <p>-Dificultad en mantener el espesor constante en piezas profundas. ✗</p> <p>-Necesidad de mecanizado posterior para obtener la forma final de nuestra carcasa. ✗</p> <p>-Coste de producción muy elevado, es preferible el uso de la fundición. ✗</p>	<p>-La geometría final a fabricar se puede descomponer en dos geometrías más simples. ✓</p> <p>-El acero inoxidable seleccionado tienen una soldabilidad excelente. ✓</p> <p>-Coste de producción mucho menor para series cortas debido a la no utilización de moldes y matrices además de ser una fabricación sencilla. ✓</p> <p>-Todo ello se traduce en un tiempo de fabricación pequeño, es decir, coste por mano de obra bajo. ✓</p> <p>-Para series cortas sin duda es el proceso óptimo. ✓</p>

Respecto a las operaciones a realizar en el tubo éstas son el corte longitudinal y un agujero roscado, más información sobre las operaciones de fabricación se encuentra en el apartado 6.5.

Las tapas que forman nuestra carcasa parten de chapa de 2 mm de espesor pero no hay de qué preocuparse de la compra de este semiproducto ya que es una pieza obtenida directamente de nuestro proveedor de corte láser y manufactura, LÁSER GODET.

5.1.1.4. Diagrama de operaciones



Figura 5.5. Conjunto carcasa
(Fuente: propia)

5.1.2. Subconjunto 2: difusor

El conjunto difusor está formado por dos piezas de policarbonato, el tubo y la tapa. Tiene una forma de camisa donde la unión entre las dos piezas se realiza mediante soldadura plástica basada en la aplicación de calor y presión, obteniendo una sola pieza.

Las imágenes que van de la figura 5.6 a la 5.8 muestran la geometría de las piezas y del conjunto explosionado completo, además la tabla 5.5 facilita el código de plano y la marca para cada una de las piezas.

TABLA 5.5: Despiece subconjunto 2

Nombre	Código	Marca
Tubo difusor	C2-D04	7
Tapa difusor	C2-D03	6
Conjunto difusor	C2	-



Figura 5.6. Tapa difusor (Fuente: propia)

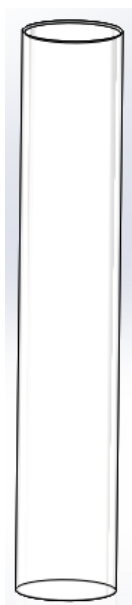


Figura 5.8. Tubo difusor (Fuente: propia)



Figura 5.7. Explosionado difusor
(Fuente: propia)

5.1.2.1. Selección del material

Para seleccionar el material del difusor partimos de unos requisitos básicos. El difusor es una parte expuesta a los agentes atmosféricos por lo tanto, al igual que para la carcasa, es necesario que el material sea resistente a la corrosión, resistente al desgaste y a los agentes atmosféricos además de tener la resistencia mecánica y la rigidez suficiente para aguantar las fuerzas producidas por la acción del viento u otras fuerzas puntuales.

TABLA 5.6: Propiedades policarbonato, polimetacrilato y vidrio borosilicato.

Propiedades	PC	PMMA	Vidrio
Densidad	1.2-1.4	1.2	2.4-2.7
Módulo de Young (GPa)	2.4	2.24-3.24	62
Resistencia a rotura (MPa)	65.5	48-76	69
Calor específico (J/Kg·K)	1000-1200	1260	830
Coefficiente dilatación térmica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$65 \cdot 10^{-6}$	$70.6 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
Conductividad térmica (W/m·K)	0.2	0.21	1.7
Resistencia eléctrica ($\Omega \cdot \text{m}$)	10^{15}	10^{12}	10^{15}
Temperatura vítrea ($^{\circ}\text{C}$)	150	85-105	-
Temperatura de uso	-100 a 135	-10 a 90	-70 a 500
Precio (€/Kg)	4.5-6.5	2.4-3.5	1.5-3
Resistencia al impacto (J/m)	600-850	74	38
Resistencia química	Buena	Buena	Muy buena
Resistencia a la intemperie	Buena, con el tiempo amarillea	Muy buena	Muy buena
Combustibilidad	No	Si	No

Nota: Datos obtenidos de "Material Selection in mechanical design, F.Ashby" y "Ciencia de materiales, Mangonon"

Por otro lado nuestro difusor será el encargado de transmitir la luz de manera homogénea por lo tanto se necesita que el material sea capaz de transmitir la luz, es por esta razón que la selección se limita al uso de policarbonato, metacrilato y vidrio, se comparan mediante la tabla 5.6.

El primer descarte es el vidrio ya que es la opción menos económica por el coste de fabricación, por otro lado tiene una densidad más elevada y no resistiría a los posibles impactos producidos en el difusor. Ahora solo nos queda escoger entre los dos tipos de termoplásticos, cualquiera de los dos realizaría perfectamente su función pero el PC, además de tener una resistencia superior y un rango de uso de temperaturas mayor, difumina mejor la luz y este es el punto determinante para nuestra selección.

5.1.2.2. Proceso de fabricación

Dentro de los métodos más utilizados en la conformación de plásticos se analiza la fabricación de por inyección, termoconformado y la descomposición y unión de geometrías simples.

TABLA 5.7: Posibles métodos de fabricación para subconjunto 2

INYECCIÓN/SOPLADO POR INYECCIÓN	TERMOCONFORMADO	UNIÓN SOLDADA
<ul style="list-style-type: none"> -Proceso de fabricación de coste elevado para series cortas. ✗ -Tiempo de enfriamiento relativamente largo. ✗ -Pieza totalmente acabada pero con posibles rebabas. ✓ -Vigilar que los puntos de inyección no queden en un punto visible de la luminaria. ✗ -Necesidad de ángulo de salida para la extracción de la pieza. ✗ 	<ul style="list-style-type: none"> -Proceso de fabricación más económico y rápido que la inyección. ✓ -Dificultad para reproducir la pieza por su gran profundidad. ✗ -Dificultad a la hora de mantener el espesor constante en piezas profundas. ✗ -Necesidad de ángulo de salida para extraer la pieza del molde. ✗ 	<ul style="list-style-type: none"> -Polímeros termoplásticos son fáciles de unir mediante métodos adhesivos o de soldadura plástica. ✓ -La geometría de nuestro conjunto es fácil de descomponer en solo dos piezas. ✓ -Proceso de fabricación más rápido y fácil que los anteriores por lo tanto, más económico. ✓

En la tabla 5.7 se muestran los puntos fuertes y débiles de cada uno de los procesos y es evidente que la fabricación del difusor mediante la unión de dos geometrías más simples es con diferencia la más rentable a causa de no necesitar moldes ni utensilios muy costosos para obtener la forma deseada. Al ser también un proceso más rápido el coste de fabricación será el más bajo de los tres.

5.1.2.3. Selección del semiproducto y operaciones a realizar

El conjunto difusor está formado por dos piezas independientes y hay que seleccionar cada semiproducto por separado y planificar las operaciones.

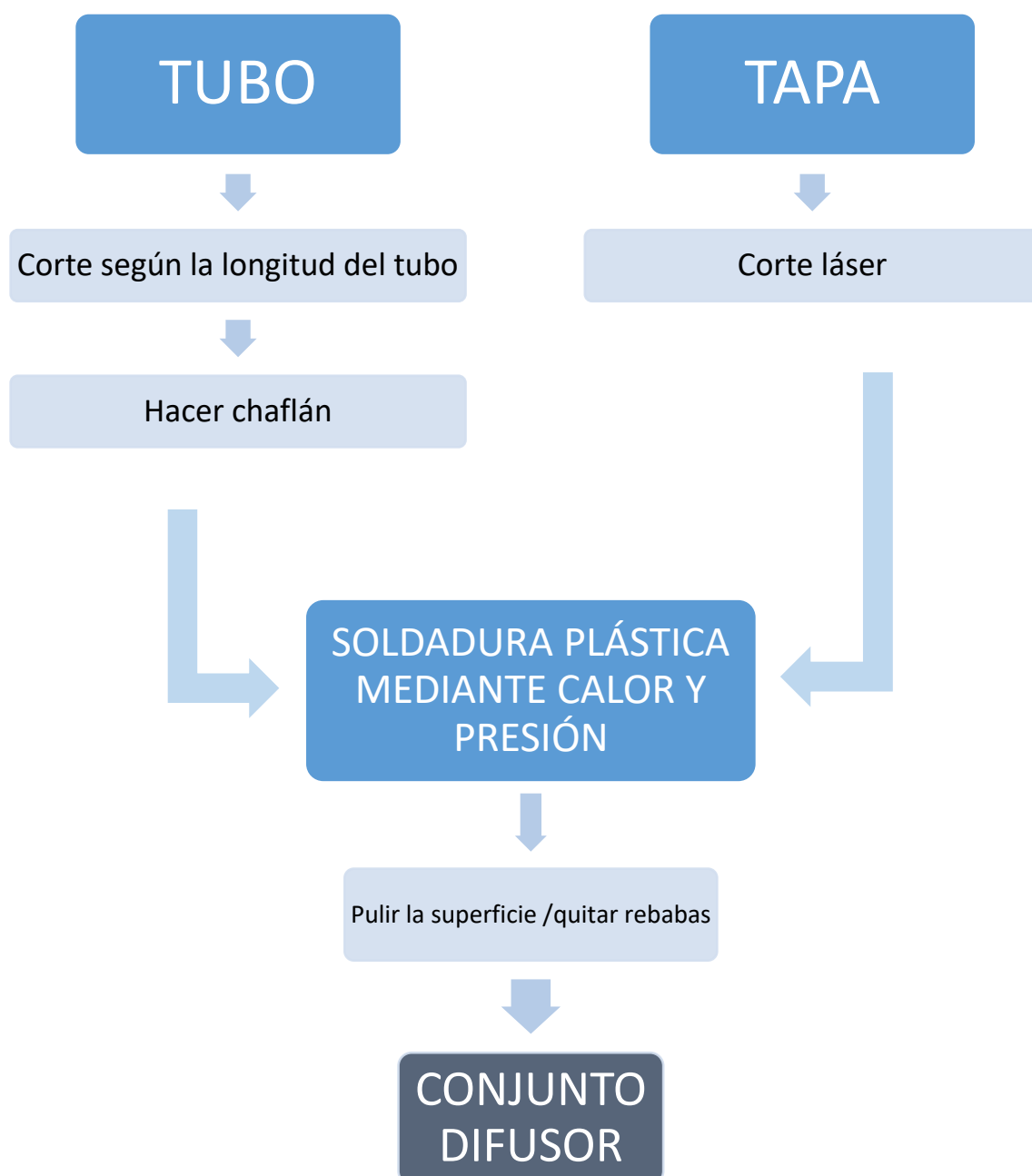
Para el tubo se selecciona un tubo estándar con un diámetro de 100 mm y espesor de pared de 2 mm, tienen un acabado opal para distribuir la luz homogéneamente. Es una pieza que requiere del mecanizado de un chaflán para realizar la unión de las dos piezas más fácilmente y mejorar el aspecto sin dejar marca. En este caso nuestro proveedor es POLINTER, encargado de nuestro suministro de tubos de materiales plásticos.

La tapa del difusor parte de una lámina de espesor 2 mm con el mismo acabado opal que el tubo, la obtención de esta lámina recae sobre el proveedor PLÁSTICS SANT JORDI, encargado de la manufactura total del conjunto difusor.



Figura 5.9. Conjunto difusor (Fuente: propia)

5.1.2.4. Diagrama de operaciones



5.1.3. Subconjunto 3: soporte

El conjunto soporte está formado por varias piezas destinadas a la sujeción de la tira de led y el driver, además es el encargado de la gestión térmica de la luminaria. Todas las piezas están fabricadas en aluminio y su análisis se realiza de manera independiente al ser un conjunto formado por el ensamblaje de piezas con características y funciones diferentes.

La unión entre las piezas se realiza mediante tornillería, explicada en el punto 5.4.1. En las imágenes de la 5.10 a la 5.14 se muestra la geometría de las piezas y del conjunto completo, además en la tabla 5.8 se facilita el código de plano y la marca para cada una de las piezas referentes al volumen II de este proyecto.

TABLA 5.8: Despiece subconjunto 3

Nombre	Código	Marca
Unión soporte	C3-D05	13
Soporte driver	C3-D06	18
Soporte tira LED	C3-D07	9
Reflector soporte	C3-D08	10
Varilla soporte	C3-D09	11
Conjunto soporte	C3.0	-
Conjunto soporte driver	C3.1	-



Figura 5.11. Unión soporte
(Fuente: propia)



Figura 5.12. Soporte driver
(Fuente: propia)

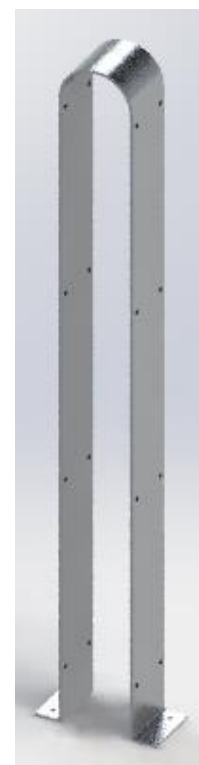


Figura 5.102. Soporte tira de LED
(Fuente: propia)



Figura 5.14. Reflector soporte (Fuente: propia)



Figura 5.13. Varilla soporte (Fuente: propia)

5.1.3.1. Selección del material

El único requerimiento de este conjunto es que sea capaz de disipar el calor de una manera eficiente, no es necesario que tenga unas propiedades mecánicas muy elevadas ni siquiera que sea resistente a la corrosión ya que es un conjunto interior, sí que es cierto que hay que tener en cuenta la corrosión galvánica que se pueda producir al estar en contacto con otros materiales, en este caso el acero, por lo que no hay problema.

La selección del material es sencilla ya que el material con la relación conductividad térmica y precio más elevado es el aluminio y sus aleaciones por lo que se estudian las diferentes aleaciones de aluminio, principalmente el aluminio para forja ya que se parte de semiproductos laminados y extruidos (tabla 5.9).

TABLA 5.9: Propiedades de las series aleaciones de aluminio para forja

Propiedades	1000	2000	3000	5000	6000	7000
Densidad (Kg/m ³)	2.7	2.8	2.7	2.6	2.7	2.8
Módulo de Young (GPa)	71	73	69	69	69	72
Límite elástico (MPa)	30	200-500	41.3	40-300	145-275	435-505
Resistencia a la tracción (MPa)	77	485	110	220	240-310	500-570
Coefficiente dilatación térmica (°C ⁻¹)	24	23	23	24.5	23.6	23.4
Conductividad térmica (W/m·K)	215	190	170	70-100	155-180	130
Capacidad calorífica (J/g·K)	900	875	1000	910	895	875
Resistencia eléctrica (nΩ ·m)	30	51	34	82	37-40	52
Dureza (HB)	20	135	55	70	65-95	150
Temperatura de fusión (°C)	650	530-635	550	450-605	580-650	475-635
Colabilidad	3	2	1	2	2	4
Maquinabilidad	4	2	3	2	1	3
Soldabilidad	3	5	3	3	3	5
Resistencia corrosión	1	5	2	2	2	5
Anodización	1	4	3	2	3	4

Nota 1: Valores aproximados generales para el tipo de serie, 1-Excelente, 5-No adecuado

Nota 2: Datos obtenidos de "Materials Selection in mechanical design, F.Ashby" y "Ciencia de materiales, Mangonon"

La selección de una aleación dependerá del tipo de semiproducto escogido y el proceso de fabricación de la pieza. Las aleaciones más comunes para tubos son la 6060, 6063 y 6082 por su facilidad de extrusión, para chapas la 1050 y 5754 son las más comunes y para barras macizas la 2007,2011, 5083,6026, 6082 y 7075. En el siguiente apartado se detalla la selección de la aleación para cada pieza.

5.1.3.2. Selección del semiproducto, proceso de fabricación y operaciones

Este conjunto está formado por varias piezas, todas ellas con la característica común de necesitar mecanizado, a continuación se explica la selección del semiproducto y las operaciones a realizar en cada pieza.

-Unión soporte:

En la figura 5.10 se ve la geometría, sencilla de obtener mediante torneado. Partimos de una barra de diámetro 100 mm de aluminio 6082 T66, tratamiento térmico por solución y envejecido artificial. Se utiliza esta barra por ser una de las aleaciones con mejor maquinabilidad ofertadas por el proveedor además de tener un stock siempre disponible. Las operaciones de fabricación son el mecanizado en torno y posteriormente se realizan los agujeros roscados y pasantes pertinentes.

-Soporte driver:

Según la geometría de la figura 5.11 se ves como la mejor para el producto en bruto es a partir de chapa, ésta es de aluminio 5754 H111 con espesor 2 mm, tratamiento térmico que proporciona un estado de recocido y traccionado, muy recomendado para plegados de 90º por su gran alargamiento a pesar de tener unas propiedades mecánicas inferiores.

Las operaciones son la obtención del desarrollo de la pieza por corte láser para posterior doblado y la anodización de la pieza con un acabado plata mate de unas 15 micras para obtener una mejor disipación de calor.

-Soporte tira de LED:

El proceso de fabricación de esta pieza es muy similar al anterior, partimos de la misma chapa aluminio 5754 H111 de 2 mm de espesor que será cortada mediante láser para posteriormente hacer los doblados pertinentes y anodizar.

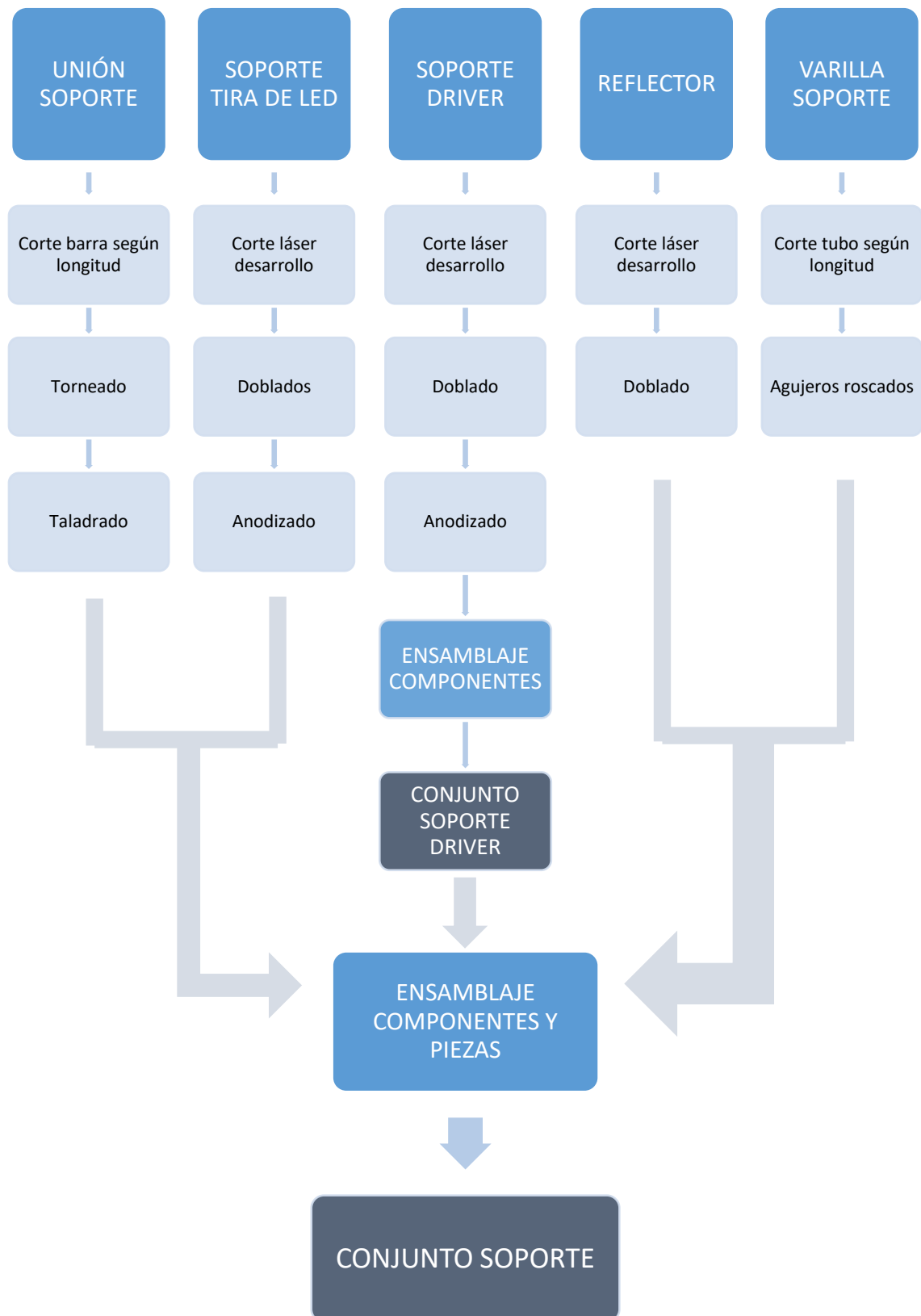
-Reflector soporte:

La función del reflector es la de aprovechar al máximo la luz emitida por el LED, para ello es necesario que el reflector tenga un acabado tipo espejo, maximizando la reflexión de la luz. Se parte de una chapa 5457 con un espesor de 0.5 mm con este tipo de acabado. La obtención del semiproducto también es responsabilidad del proveedor de corte láser, una vez cortada la pieza la única operación a realizar es el doblado para obtener la geometría final deseada.

-Varilla soporte:

Esta pieza está diseñada para unir el conjunto soporte con la pieza base. Partimos de tubo redondo extruido de diámetro 10 mm, espesor 3 mm y de aluminio 6060, se cortará según la longitud necesaria y se mecanizarán dos agujeros roscados en cada uno de los extremos.

5.1.3.3. Diagrama de operaciones



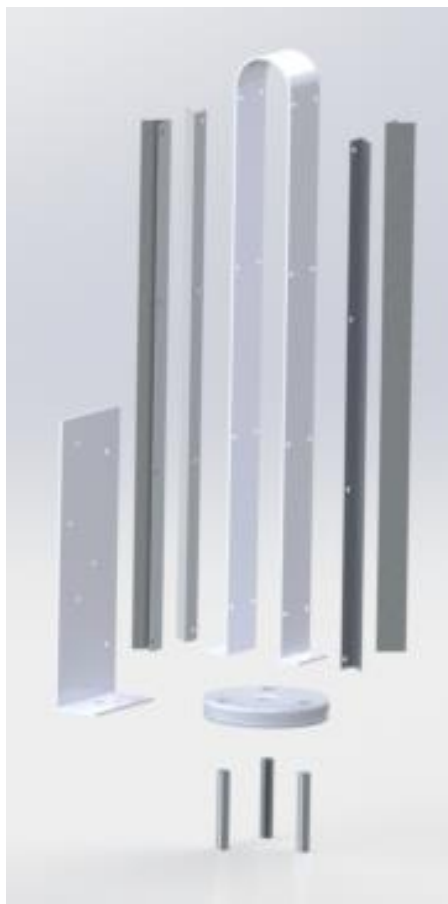


Figura 5.15. Explosionado soporte (Fuente: propia) **Figura 5.16.** Ensamblaje soporte (Fuente: propia)

5.1.4. Subconjunto 4: base

El conjunto base está formado por dos piezas, la pieza base y el embellecedor, fabricado en aluminio y acero inoxidable respectivamente. Este conjunto será el encargado de proporcionar una base sólida para poder fijar la luminaria correctamente al suelo.

La unión entre las dos piezas se realiza mediante un tornillo pasador que evita el desplazamiento vertical del embellecedor respecto a la pieza base.

En las imágenes de la 5.17 a la 5.19 se muestran la geometría de las piezas y del conjunto completo, además en la tabla 5.10 se facilita el código de plano y la marca correspondiente al volumen II de planos.

TABLA 5.10: Despiece subconjunto 4

Nombre	Código	Marca
Pieza base	C4-D10	28
Embellecador base	C4-D11	32
Conjunto base	C4	-

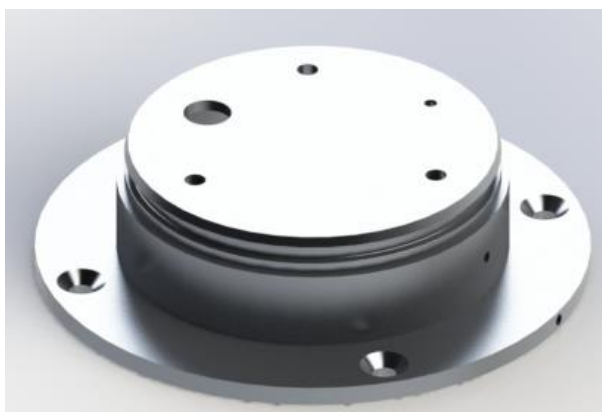


Figura 5.17. Pieza base (Fuente: propia)

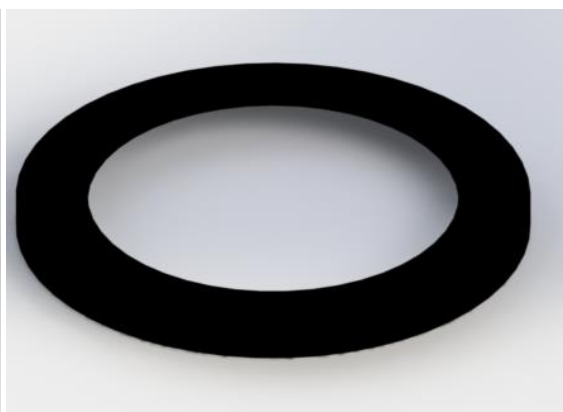


Figura 5.18. Embellecedor (Fuente: propia)

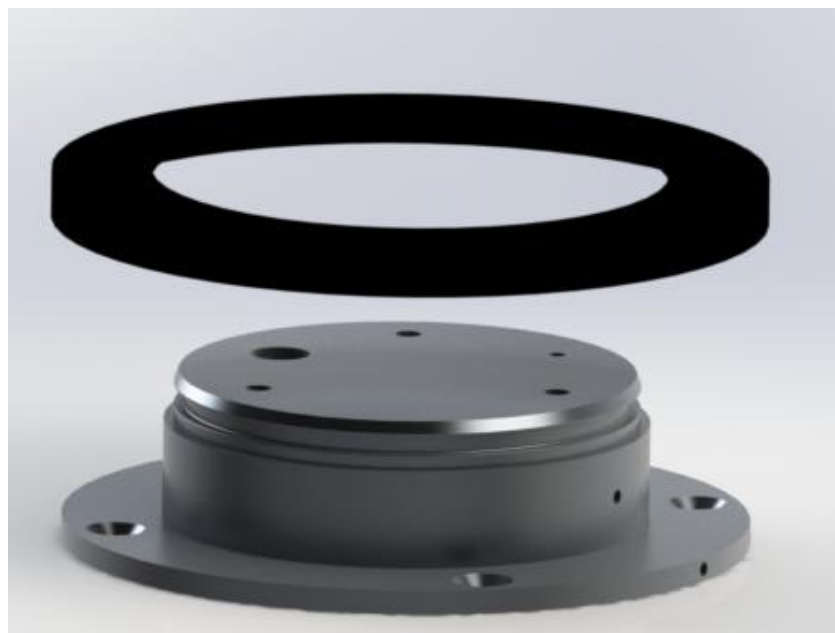


Figura 5.19. Explosionado conjunto base (Fuente: propia)

5.1.4.1. Pieza base

Como su nombre indica esta pieza será la base de nuestra luminaria por lo que una de las propiedades necesarias será la resistencia frente a los agentes atmosféricos y la corrosión por el hecho de estar expuesta a la intemperie. Además debe tener la resistencia y rigidez necesarias para soportar la fuerza del viento u otras fuerzas puntuales aplicadas, sin deformarse excesivamente o romper.

-Selección del material y proceso de fabricación:

Como en el caso del conjunto carcasa, el grupo de materiales idóneo para la función de esta pieza es el de los metales por sus propiedades mecánicas para ejercer de soporte base de la luminaria. Además se necesita una buena protección frente a la corrosión, el acero inoxidable y las aleaciones de aluminio serán dos materiales válidos para la pieza base según las propiedades vistas en la tabla 5.3.

Anteriormente se ha visto como la selección del material y el proceso de fabricación siempre van de la mano ya que dependiendo de las propiedades del material pueden ser aptos o no para un proceso de fabricación determinado, la tabla 5.11 muestra los posibles procesos de fabricación aplicables para esta pieza.

TABLA 5.11: Procesos de fabricación posibles para la pieza base

FUNDICIÓN	MECANIZADO	UNIÓN DE VARIAS PIEZAS
-Los aceros inoxidables tienen una fusibilidad inferior al aluminio, fundir acero resulta más caro. ~ -Las propiedades mecánicas se ven reducidas por la porosidad. ~ -Acabados superficiales y precisiones aceptables, necesidad de sobredimensionamiento. ✓ -Tiempo de fabricación lento debido a la solidificación. ✗ -Coste elevado por matriceria. ✗	-Geometría fácil de obtener por mecanizado. ✓ -Ratio de aprovechamiento de material muy bajo, brusquedad en los cambios de sección. ✗ -Incremento de los costes de mano de obra y de desgaste de herramientas. ✗ -Necesidad de varios procesos de mecanizado: torno, fresa y taladrado. ✗ -Coste de fabricación muy elevado, opción no rentable. ✗	-La geometría final a fabricar se puede descomponer en dos geometrías más simples. ✓ -El acero inoxidable tienen una soldabilidad excelente, las aleaciones de aluminio tienen una soldadura más compleja pero se podrían unir las piezas mediante uniones atornilladas. ~ -Coste de producción menor para series cortas, a pesar de necesitar de varias operaciones. ✓

Según la tabla de procesos de fabricación aplicables la mejor opción es la fundición de aluminio, se selecciona el aluminio para aumentar la ligereza de la luminaria y porque tiene una colabilidad mayor que la del acero por lo que conformarlo mediante fundición resulta más fácil.

Es verdad que al necesitar de moldes, en este caso un moldeo con arena, el precio de fabricación incrementa por necesidad de matriceria pero acaba siendo una inversión fácilmente amortizable ya que el coste unitario de producción acaba siendo menor. Por otro lado la mecanización completa o separada de varias piezas para posteriormente unir las mediante tornillos resulta un proceso más longevo y a la vez con un coste unitario mayor y una tasa de aprovechamiento del material baja.

Una vez se tiene la pieza por fundición habrá que acabar la pieza mediante un mecanizado de acabado por tal de obtener la rugosidad necesaria en la superficie donde va acoplada la junta tórica. La parte de componentes se explica de manera más extensa en el punto 5.4.

Por último habrá que aplicar un proceso superficial de anodización para proporcionar una protección frente a la corrosión más eficiente y duradera.

5.1.4.2. Embellecedor base

La función del embellecedor es la de unificar la estética exterior del producto, lo que se busca principalmente es seguir con el acabado visual de la carcasa en la parte de la base y esconder los tornillos necesarios para fijar la luminaria al suelo.

-Selección del material y proceso de fabricación:

Los requerimientos de selección de material son los mismos que para la carcasa y es por esta razón que se utilizará el mismo material (AISI 316L) para seguir así con las líneas estéticas del producto.

Para su geometría acopada, vista en la imagen 5.17, se estudiarán varios procesos de fabricación posibles para su obtención como el proceso de embutición y la unión soldada.

Según la tabla 5.12 el proceso más rentable es la embutición, a pesar de tener que realizar una inversión inicial en el molde, acaba siendo un proceso más económico por el hecho de ser un proceso rápido y necesitar poca mano de obra a posteriori. Por lo tanto el coste de mano de obra se verá reducido y como consecuencia el coste unitario de fabricación acaba siendo muy inferior que el de la otra opción, opción mucho más trabajosa.

TABLA 5.12: Posibles procesos de fabricación para el embellecedor

EMBUTICIÓN	UNIÓN SOLDADA
<ul style="list-style-type: none"> -Proceso fácil y rápido de realizar, su forma acopada poco profunda y diámetro de copa considerable facilita la operación y la reducción de los pasos de embutición. ✓ -Relativamente económico si se emplean pocas pasadas de embutición, el coste de matrices aumenta según el número de embuticiones. ✓ -Necesidad de varias operaciones. ✗ -Coste unitario de la pieza bajo. ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> -Geometría de la pieza fácilmente divisible en dos más simples. -Dificultad a la hora de fabricar la parte cilíndrica ya que el diámetro es relativamente grande y la longitud pequeña. ✗ -Necesidad de un cordón de soldadura largo, se incrementa el coste. ✗ -Tiempo de fabricación largo, muchas operaciones a realizar. ✗ -Coste unitario de la pieza más elevado. ✗

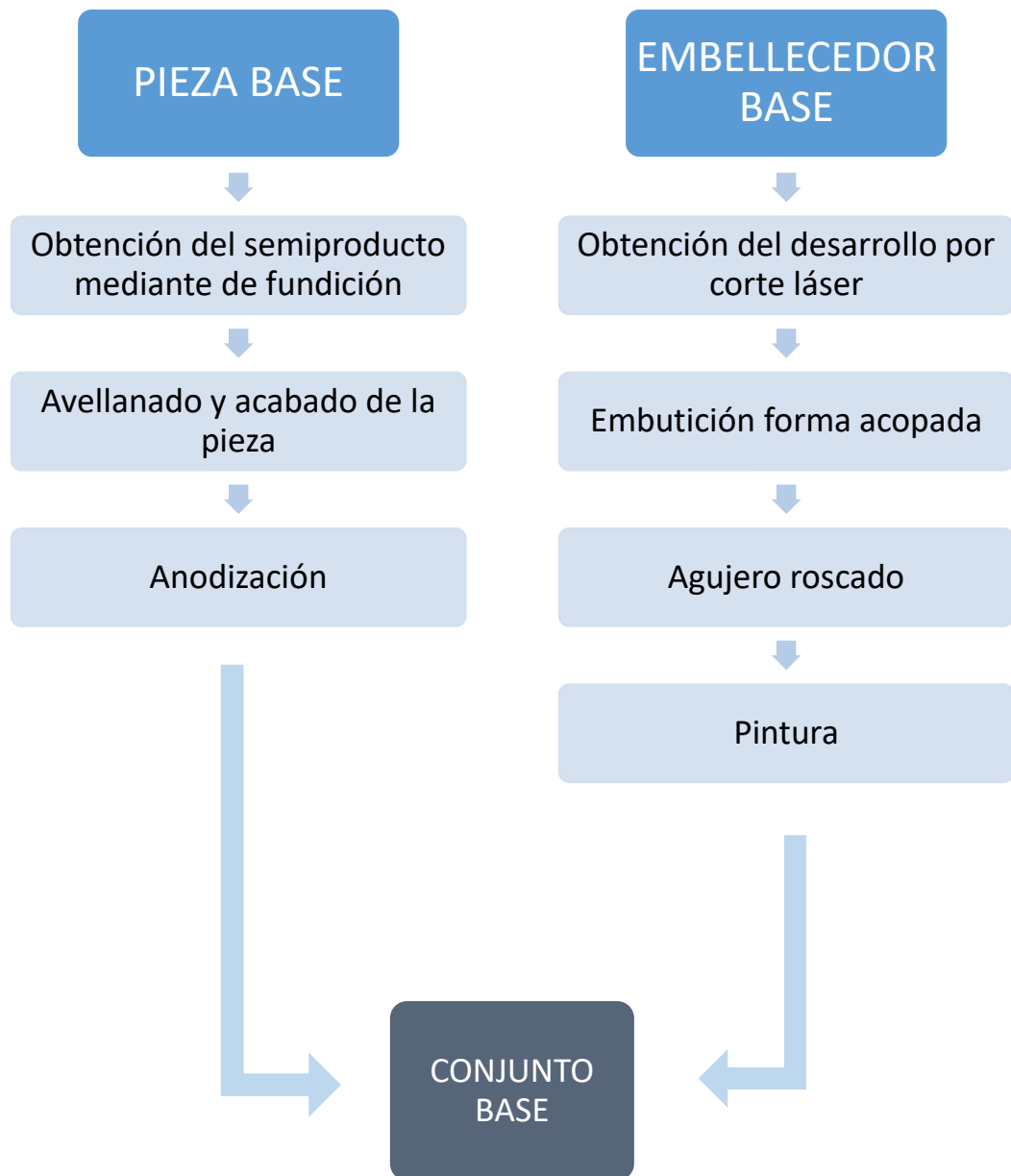
Esta otra opción resultaría mucho más cara por el proceso de soldadura para el tubo y para la unión de las piezas, con la dificultad añadida de ajustar el encaje entre las dos piezas, ralentizando la fabricación o lo que es lo mismo, un incremento en los costes unitarios.

Una vez embutida la única operación necesaria será realizar un agujero roscado en un lateral y posteriormente pintarlo con el mismo tipo de pintura que la carcasa, pintura negra del tipo epoxi.



Figura 5.20. Conjunto base (Fuente: propia)

5.1.4.3. Diagrama de operaciones



5.1.5. Subconjunto 5: anclaje

Este subconjunto se venderá de manera independiente como complemento de anclaje para la luminaria, es una opción ofrecida para proporcionar un buen agarre en un tipo de suelo más exigente como es el caso de suelos de tierra o para obras de nueva construcción.

Este conjunto está formado por tres piezas, dos de ellas de fabricación propia y la otra de compra externa. La unión entre las piezas se realiza mediante soldadura TIG, se pueden ver las piezas y el conjunto en las figuras de la 5.21 a la 5.23.

TABLA 5.13: Despiece subconjunto 5

Nombre pieza	Código	Marca
Pletina anclaje	C5-D12	33
Perno en J anclaje	C5-D13	34
Conjunto anclaje	C5	-

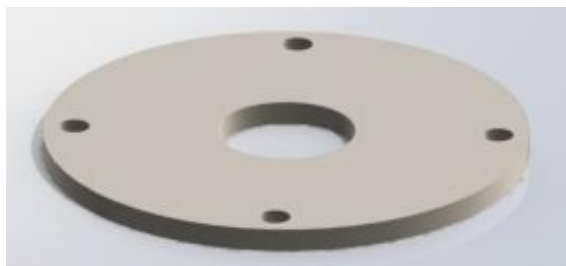


Figura 5.21. Pletina anclaje (Fuente: propia)



Figura 5.22. Perno en J anclaje (Fuente: propia)



Figura 5.23. Conjunto explosionado (Fuente: propia)

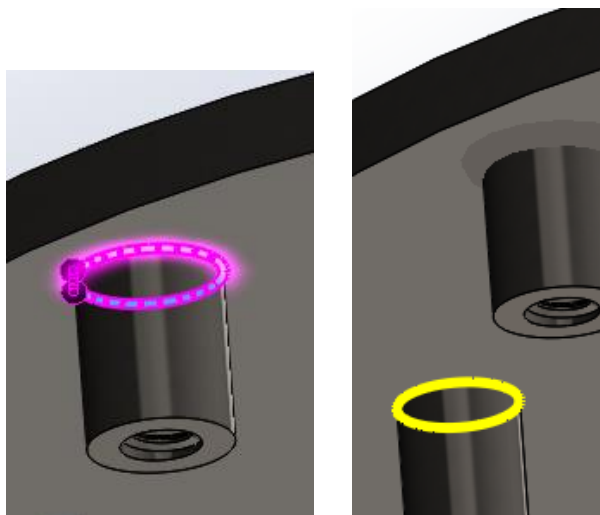


Figura 5.24. Cordones de soldadura para tuercas remachables y perno en J (Fuente: propia)

5.1.5.1. Selección de material

Al igual que en conjuntos anteriores éste también está expuesto a la intemperie por lo que se reducen las opciones a la utilización de aluminio o acero inoxidable. Este conjunto será el encargado de ofrecer una buena sujeción o agarre por lo que se selecciona el acero inoxidable para su construcción por el hecho de tener unas prestaciones mecánicas muy superiores, visto en la tabla 5.3.

Dentro de los grados austeníticos estándares seguimos el patrón de utilizar AISI 316L por sus propiedades frente a la corrosión además de ser uno de los aceros más accesibles del mercado por lo que no habrá problema ni sobrecostes a la hora de conseguir los semiproductos necesarios.

5.1.5.2. Proceso de fabricación

Con la geometría de este conjunto el proceso de fabricación más adecuado es la división en geometrías simples y posteriormente unir las mediante soldadura TIG. Se podría hacer también una fundición de la pieza como conjunto pero ésta necesitaría de mecanizado posterior para roscas incrementando el coste de fabricación, ya elevado por la necesidad de matrices.

En resumen, la unión soldada de las piezas es la opción más económica y rápida. Se ven las comparaciones de procedimientos en la tabla 5.14.

TABLA 5.14: Posibles métodos de fabricación para subconjunto 5

FUNDICIÓN	UNIÓN SOLDADA
<ul style="list-style-type: none"> -Acero inoxidable difícil de fundir. ✗ -La geometría final deseada no se obtiene directamente, necesita mecanizado posterior. ✗ -Tiempo de fabricación lento debido a la solidificación. ✗ -Proceso más costoso y lento. ✗ 	<ul style="list-style-type: none"> -La geometría final a fabricar se puede descomponer en dos geometrías más simples. ✓ -El acero inoxidable seleccionado tienen una soldabilidad excelente. ✓ -Coste de producción mucho menor. ✓ -Tiempo de fabricación menor ✓

5.1.5.3. Selección del semiproducto y operaciones a realizar

El conjunto anclaje tiene una pieza de compra externa, para las otras dos piezas habrá que escoger el semiproducto determinar las operaciones de fabricación necesarias.

La pletina es una pieza que únicamente necesita de corte mediante láser, como en todas las piezas fabricadas por láser la obtención del semiproducto recae en nuestro proveedor LÁSER GODED, encargado de suministrarnos tanto el material como la pieza final.

Por otro lado nuestro perno en forma de J parte de una barra de Ø8 de acero AISI 316L obtenida en LUMETAL y suministrada con una longitud de 6000 mm. Solamente se realiza un corte para obtener la longitud inicial y doblar la barra con un ángulo de 45°.

5.1.5.4. Diagrama de operaciones

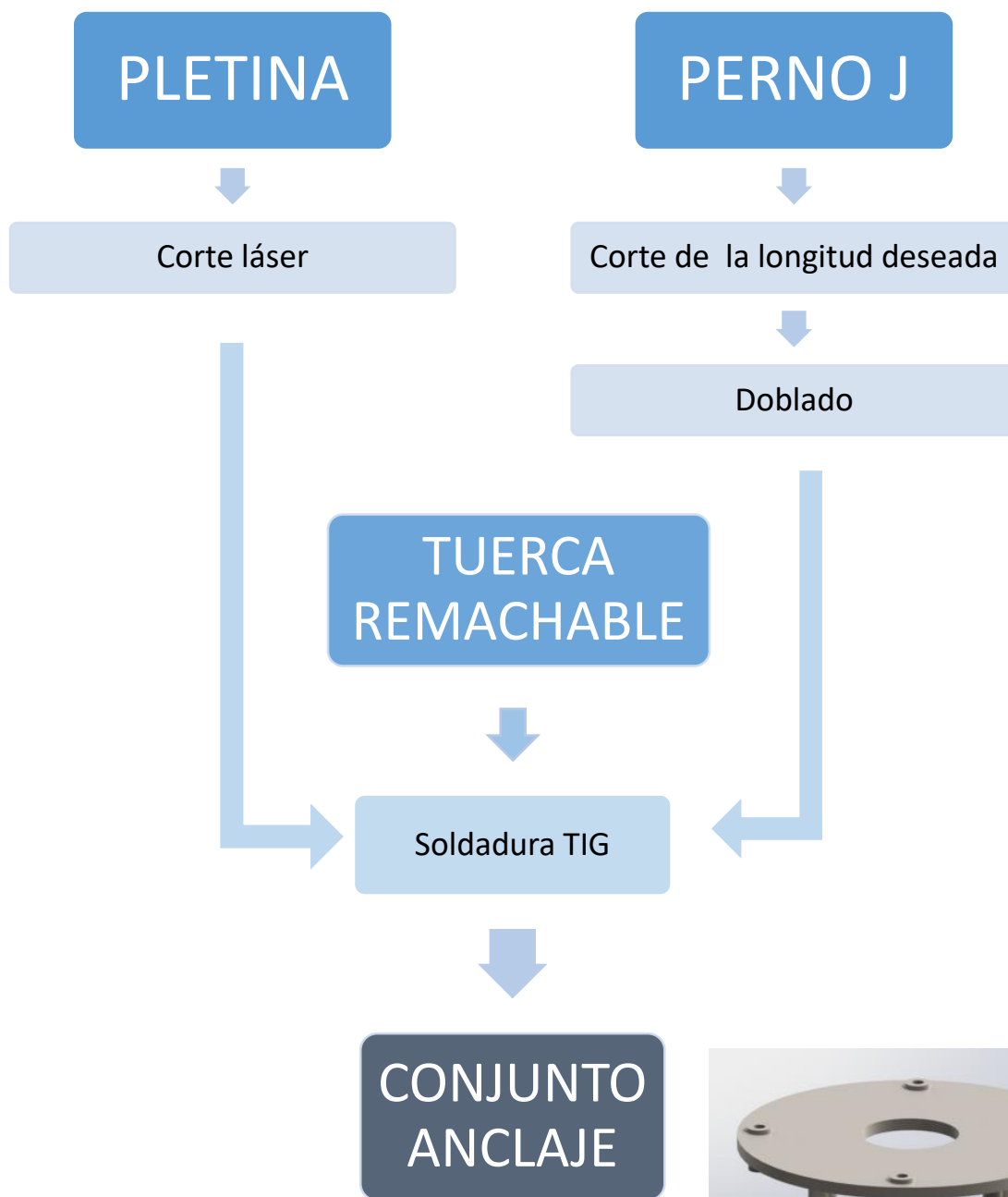


Figura 5.25. Conjunto anclaje
(Fuente: propia)

5.2. Parte lumínica

Sin duda alguna la parte lumínica es la parte más importante de nuestra luminaria ya que obviamente la función principal de este producto es la de iluminar. Por esta razón encontrar la fuente de luz óptima se convierte en un punto importantísimo a estudiar.

La forma del corte de la carcasa nos limita a la hora de seleccionar la fuente de luz, estrecharemos nuestra búsqueda en módulos lineales y tiras flexibles, cualquier otra opción desaprovecharía considerablemente la eficiencia lumínica de la luminaria. Analizaremos estas dos posibilidades con más profundidad y veremos como la tira de LED es la mejor opción.

Una vez seleccionada la fuente lumínica se estudiarán los parámetros característicos correspondientes a la tira de led y se adentrará en un estudio más exhaustivo de la fuente de luz utilizada.

5.2.1. Módulo lineal vs. Tira de LED

La forma longitudinal de nuestra luminaria y su corte para difundir la luz estrecha nuestra selección alrededor de estas dos opciones. Estas dos fuentes tienen en común su forma lineal con una asociación de diodos interconectados entre sí, capaces de ofrecer muchas posibilidades lumínicas ya que existe una cantidad infinita de tipologías en el mercado.

Los módulos lineales son rígidos comparados con la tira de led, ésta por lo contrario es flexible y ofrece la ventaja de poder doblarse hasta un radio mínimo de unos 3 cm, cosa que nos interesa más para ofrecer una luz homogénea por todo el corte de la carcasa. Normalmente los módulos lineales tienen unas eficiencias más altas y están encarados a iluminaciones más exigentes, a pesar de esto los fabricantes de tiras mejoraron sus productos ofreciendo las mismas posibilidades de flujo luminoso y eficiencia que los módulos, añadiéndolo así a su principal ventaja, su adaptación.

El creciente desarrollo del mercado led en los últimos años ha provocado la necesidad de estandarización de sus componentes, por lo que atañe a los módulos led sus dimensiones vienen definidas según unos criterios a pesar de que muchas veces no se siguen ya que evidentemente es una estandarización en proceso de desarrollo y no cubre todas las posibilidades aplicativas que estos productos pueden dar.

Las dimensiones de nuestro producto nos limitan a la hora de hacer la selección, aparte de la forma longitudinal, el espacio es reducido en el interior de la luminaria y dificulta su diseño. A pesar de la existencia de módulos lineales de pequeñas dimensiones, sus dimensiones no son lo suficientemente reducidas como para dar una buena iluminación.

Los fabricantes de módulos led ofrecen la posibilidad de adaptar los diseños según las necesidades de sus clientes aunque todo esto tiene un coste, hacer un diseño específico requiere del pago inicial de unos 150€ mínimo aparte de los costes de fabricación y material que todo ello conlleva. Si se garantiza un volumen elevado del producto con este diseño especial se recuperará fácilmente la inversión pero, en nuestro caso, como es un producto para series cortas y sin una clara aceptación en el mercado no es conveniente asumir este riesgo, por consiguiente la utilización de la tira de led es la selección óptima en este caso y nos garantiza la uniformidad de la luz.

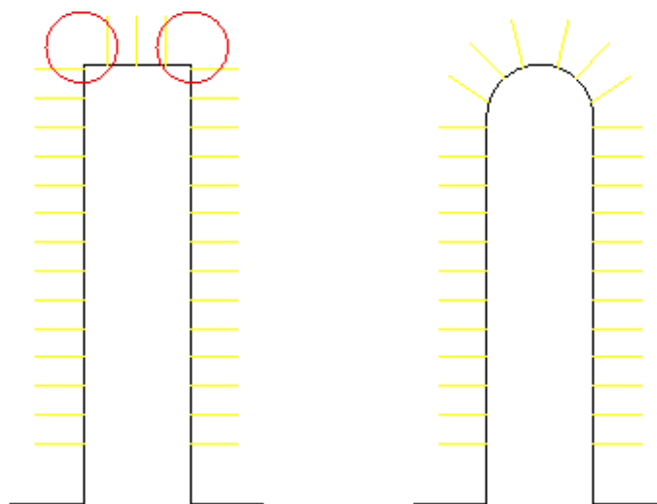


Figura 5.26. Uniformidad de la luz con modulo lineal y tira de led respectivamente (Fuente: propia)

5.2.2. La tira de LED

Dentro de las tiras de led existe una inmensa cantidad de productos pero no todos son útiles para la iluminación que debemos proporcionar. La tira de led es comúnmente utilizada para decoración i iluminación arquitectónica, en nuestro caso lo que se necesita es una tira de LED capaz de proporcionar una iluminación más potente, homogénea y de calidad.

Para realizar una buena selección de la tira de led pondremos especial atención en los siguientes aspectos.

5.2.2.1. Tensión de alimentación

Existen tiras alimentadas a 5, 12 o 24 V en corriente continua y a 230 VAc aunque lo más habitual es la utilización de tiras de 12 o 24V. Las tiras de 24 V ofrecen un mejor comportamiento frente a las caídas de tensión, cuando se habla de caídas de tensión nos referimos a las pérdidas producidas debido al paso de corriente a través de los conductores a causa de la resistividad que estos

presentan. A continuación se demuestra matemáticamente este fenómeno junto con un ejemplo aplicativo:

$$P = V \cdot I = R \cdot I^2 \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Se comparan dos situaciones, se tienen dos tiras de LED, una alimentada a 12V y la otra a 24V, la sección de los conductores es la misma al igual que la potencia ya que ambas utilizan el mismo driver (de 10W). Si la potencia es la misma para mantener el balance, la intensidad de las tiras variará siendo una el doble que la otra:

$$10 = 24 \cdot I \rightarrow I_{24} = 417 \text{ mA} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

$$10 = 12 \cdot I \rightarrow I_{12} = 834 \text{ mA} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$I_{12} = 2 \cdot I_{24} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Por lo tanto vemos claramente como con una tira alimentada a 24V pasa la mitad de intensidad que la de 12, es aquí donde entra en juego la resistividad, expresada mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

Ya se ha comentado que la sección de los conductores es la misma en ambas, al igual que la longitud de tira. Por lo tanto, la resistencia de los conductores será la misma para ambas, y mirando las pérdidas:

$$P_{24} = R \cdot I_{24}^2 \quad (\text{Ec. 5.6})$$

$$P_{12} = R \cdot I_{12}^2 = R \cdot 2 \cdot I_{24}^2 \rightarrow P_{12} = 2 \cdot P_{24} \quad (\text{Ec. 5.7})$$

Visto esto queda claro como la utilización de una tira de 24V es mucho más eficiente porque las pérdidas se reducen a la mitad.

5.2.2.2. El chip

En el mercado existe una extensa variedad de chips LED. La tira de LED está formada por un número de leds conectados en serie o en paralelo, estos leds son los llamados SMD (explicados en el punto 3.3.3), se ensamblan directamente a lo largo de la tira flexible de cobre o la PCB, donde se encuentran las interconexiones y otros componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la tira.

Entre los SMD más utilizados en la fabricación de tiras led se encuentran los SMD3528, SMD 3014, SMD 5050 y los SMD 5050 de alta eficiencia. Cada uno de estos chips tiene sus propias características, las cifras numéricas que acompañan al nombre son las dimensiones del chip. Otras características se recogen en la siguiente tabla.

TABLA 5.15: Chips SMD y sus características

chip	dimensiones (mm)	luminosidad (lm)	potencia (W)	corriente (mA)	eficacia (lm/W)
3528	3.5x2.8	7	0.08	20	90
3014	3x1.4	7	0.08	20	90
5050	5x5	24	0.24	60	100
5050 HE	5x5	34	0.24	60	140

Las características de cada chip los hace más cercanos a según qué aplicación, por ejemplo las tiras de led que incorporan el chip SMD 3528 son tiras con un bajo consumo y poca luminosidad, perfectas para perfilar contornos en decoración, además de tener un precio mucho más económico.

El chip SMD3014 tiene las mismas características que el SMD3528 pero con la mitad de tamaño, se utiliza también para iluminación arquitectónica pero con la diferencia de ofrecer más luminosidad ya que las tiras que incorporan este chip tienen una mayor densidad de chips, cosa que produce una distribución más homogénea de la luz al reducir el espacio entre leds.

Por ultimo tenemos los chips SMD 5050 y 5050HE los cuales tienen un consumo más alto pero proporcionan luminosidades mucho mayores. Podemos ver cómo, a pesar de tener un mayor consumo la eficiencia de estas tiras es mucho mayor, siendo utilizadas en instalaciones con requerimientos de luminosidad más exigentes.

5.2.2.3. Densidad y distancia entre chips

El número de leds por metro de tira es otro factor importante porque afecta directamente al consumo de la tira de led y a la luminosidad, o mejor dicho, a la eficacia de la tira de led.

Este parámetro también afecta directamente a la homogeneidad de la luz proporcionada, el led tiene una distribución lambertiana por lo que la distancia entre cada uno de los led será el factor clave que determinará la homogeneidad proporcionada.

Si la densidad de chips es baja y los chips están muy separados la luz proporcionada será poco homogénea, notándose los diferentes focos luminosos. En definitiva, para obtener una luz

homogénea conviene que la distancia entre leds sea óptima ya que por el contrario, una distancia muy pequeña desaprovechará una cantidad considerable además de provocar un flujo no homogéneo, veamos el siguiente ejemplo.

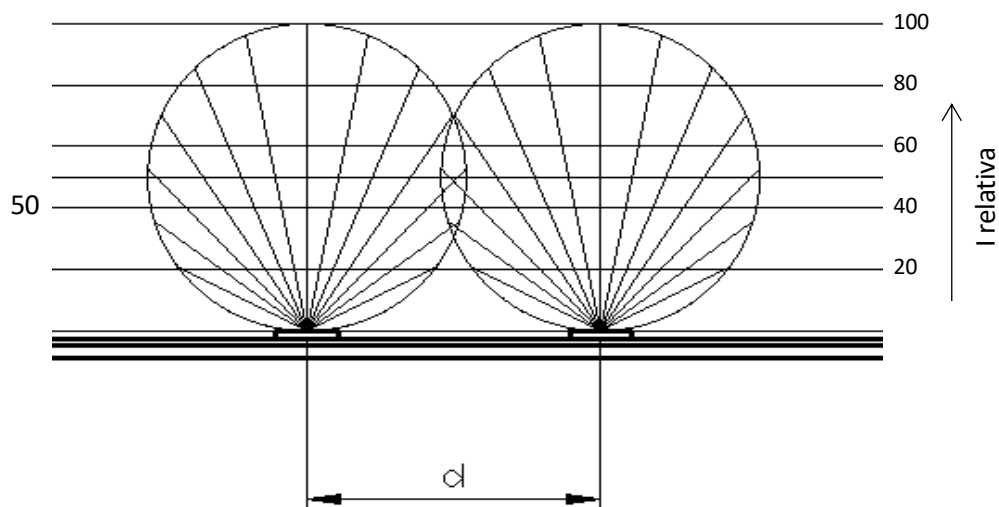


Figura 5.27. Distancia entre chips y curvas de intensidad relativa (Fuente: propia)

En la imagen 5.26 vemos la representación de dos chips led ensamblados en una tira (también podría ser el caso de un módulo lineal). Vemos representadas las curvas de intensidad relativa de cada uno de los chips, la distancia d a la que se encuentren los leds será la responsable de determinar el corte entre las curvas, este corte debería producirse sobre el 50% de intensidad relativa para considerar su homogeneidad aceptable, de este modo no se produciría una diferencia entre picos muy elevada, evitando así la visión de diferentes focos lumínicos.

5.2.2.4. Temperatura de color

En el mercado podemos encontrar fuentes lumínicas de varios colores, existen dos tipologías de lámpara principales, las tiras monocromáticas y las RGB. Las tiras RGB están compuestas por diodos capaces de reproducir los tres colores básicos (azul, verde y rojo) y gracias a la combinación de éstos pueden reproducir una variedad muy extensa de tonalidades.

Las tiras monocromáticas, cómo su nombre indica solamente pueden reproducir un color ya sea blanco (neutro, frío o cálido) u otro color, en comparación con las RGB son más eficientes y aportan mayor luminosidad.

Pero el concepto de temperatura de color no tiene nada que ver con el color proporcionado por la fuente de luz, hay que tener claro que el concepto de temperatura de color es solo aplicable para luces blancas monocromáticas.

A la hora de seleccionar o de utilizar una fuente de luz debemos seleccionar la TTC óptima según la función a desempeñar en el lugar donde se va a instalar dicha luminaria. Además, existe una clasificación (llamada binning) que determina los valores tolerados dentro de las diferentes TTC y es de suma importancia la utilización del mismo bin para una misma fuente o instalación lumínica ya que puede producir una no homogeneidad en el color proporcionado.

5.2.2.5. Eficacia luminosa

Este parámetro también es un factor vital a la hora de escoger nuestra tira de led. Tal y como se definió en el capítulo 3, la eficacia es la relación existente entre la luminosidad emitida y la potencia de funcionamiento, por lo tanto a mayor eficiencia, mayor aprovechamiento de luz.

Es evidente que siempre tenemos que tener en cuenta los requerimientos del lugar en el que instalaremos nuestra tira de led o cualquier otra fuente de luz porque normalmente los componentes con mayor eficiencia o calidad se acaban pagando a un precio más elevado que otros con prestaciones inferiores, por lo tanto siempre tendremos que tener en cuenta si la eficiencia de nuestra tira es suficiente como para cubrir las necesidades demandadas sin necesidad de exceder en el precio de la misma.

No debemos confundir la eficacia luminosa de la tira de led con la total de la luminaria por ejemplo, un led ofrece una eficacia de 100 lm/W, al calentarse tiene una pérdida de un 5% vinculada al calor, un 10% vinculado al driver y un 5% debido al difusor por lo que la eficacia de la luminaria será de 80 lm/W.

5.2.2.6. Fuente de alimentación

Para que la tira funcione correctamente ésta debe accionarse a través de la fuente de alimentación adecuada según su voltaje de accionamiento. Para seleccionar la potencia de accionamiento necesaria hemos que tener en cuenta la longitud de tira utilizada y su consumo por metro, además de aplicar aproximadamente un 10% más de capacidad para asegurar un consumo óptimo.

En el punto 5.3.1 se habla sobre la selección de nuestro driver, se podrá ver cuál es el proceso de cálculo utilizado para seleccionar el driver apropiado.

5.2.3. Fuente de luz empleada

La fuente de luz seleccionada para la realización de esta luminaria será una tira de LED alimentada a 24V fabricada por Tridonic, fabricante puntero en cuanto a electrónica y fuentes lumínicas. Sus dimensiones básicas son las siguientes:

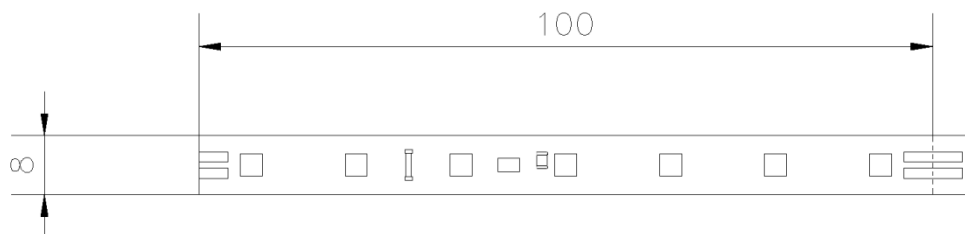


Figura 5.28. Dimensiones de la tira de LED empleada (Fuente: propia)

El modelo seleccionado es el Module LLE FLEX G2 8mm ADV, formado por una amplia gama que dispone de diferentes potencias lumínicas (600, 1200 y 1800 lm/m) y de diferentes TTC (2700, 3000, 4000 y 6500 K).

El hecho de que este producto disponga de tantas posibilidades, aparte de garantizar la calidad, es el motivo principal de su selección, la tabla 5.16 es una tabla resumen de los modelos de tiras que utilizaremos y sus características.

En definitiva, se trata de una tira led con una alta eficacia, una observación destacada es que a mayor TTC el led necesita una menor intensidad y por lo tanto la potencia consumida será menor cosa que provoca una eficacia mayor. También vemos como con mayores potencias lumínicas, mayores potencias consumidas que provocarían una menor eficacia.

TABLA 5.16: Modelos tira LED utilizada y sus características

Referencia	Flujo luminoso (lm/m)	TTC (K)	$I_{\text{consumida}}$ (mA/m)	$P_{\text{consumida}}$ (W/m)	Eficacia (lm/W)
LLE FLEX G2 8x4800 8W-1200lm/m 827 ADV	1200	2700	326	7.8	134-141
LLE FLEX G2 8x4800 8W-1200lm/m 830 ADV	1200	3000	326	7.8	134-141
LLE FLEX G2 8x4800 7W-1200lm/m 840 ADV	1200	4000	308	7.4	141-150
LLE FLEX G2 8x4800 7W-1200lm/m 865 ADV	1200	6500	308	7.4	141-150
LLE FLEX G2 8x4800 12W-1800lm/m 827 ADV	1800	2700	492	11.8	131-140
LLE FLEX G2 8x4800 12W-1800lm/m 830 ADV	1800	3000	492	11.8	131-140
LLE FLEX G2 8x4800 11W-1800lm/m 840 ADV	1800	4000	469	11.3	137-147
LLE FLEX G2 8x4800 11W-1800lm/m 865 ADV	1800	6500	469	11.3	137-147

5.2.3.1. Estimación de pérdidas

Por mucho que se quiera eliminar totalmente las pérdidas en nuestra luminaria, en la realidad siempre se producirá un porcentaje que dependerá de los rendimientos individuales de cada uno de los componentes.

El rendimiento óptico de nuestra luminaria será próximo al 70% (eficiencia óptica), esto se debe a que la tira de LED tiene aproximadamente un 10-15% de pérdidas respecto al flujo luminoso emitido, mientras que un 15-20% se perderá en la cavidad de la luminaria, teniendo un 15% de pérdida a través del difusor y un 5% por reflexión interna. Por esta sencilla razón nuestra luminaria deberá estar dotada de una capacidad lumínica superior para que la luz final emitida sea la deseada.

Con el paso del tiempo también aparecerán otras pérdidas como las pérdidas de depreciación del flujo luminoso consideradas en el punto 5.2.3.3, se caracterizan por el valor L seguido de una numeración que indica la disminución del flujo comparado con su valor inicial. Otra caracterización se designa mediante la letra B, la cual determina el porcentaje de módulos que se encuentran por debajo del valor L.

Existe también el parámetro C que caracteriza el número de fallas o no funcionamiento de los módulos. Por último si se suma B y C se obtiene el parámetro F. Por lo tanto, si encontramos una depreciación luminosa de L90F10 querrá decir que un 10% de los módulos fallarán o estarán por debajo del 90% del flujo luminoso inicial.

5.2.3.2. Proceso de selección

Al final todo gira alrededor de la eficacia, en la tabla 5.16 vimos cómo ésta es altísima en todas las variantes ofrecidas, por otro lado la potencia consumida dependerá de los metros utilizados. Para saber la longitud necesaria partimos de la cantidad de lúmenes que queremos dar, estando ésta dentro del rango de 600-800 lúmenes, siendo preferible los 800 lm.

-Consideración del factor pérdidas:

$$K_p = 1 - \text{pérdidas} = 1 - 0.3 = 0.7 \quad (\text{Ec. 5.8})$$

$$lm_{emitidos} = \frac{lm_{eficaces}}{K_p} = \frac{800 \text{ lm}}{0.7} = 1143 \text{ lm} \quad (\text{Ec. 5.9})$$

Los 1143 lm será la cantidad que nuestra tira de led tendrá que emitir para que finalmente el valor eficaz o real de lúmenes emitidos sea de 800 lm de manera aproximada.

-Consideración de potencia lumínica:

Para saber el flujo luminoso que requiere nuestra tira con el fin de emitir los lúmenes necesarios se calculará la cantidad de metros que se debería utilizar en caso de utilizar dicho flujo luminoso.

$$\frac{lm_{emitidos}}{flujo\ luminoso} = n^{\circ}\ de\ m \quad (\text{Ec. 5.10})$$

$$\frac{1143\ lm}{600\ lm/m} = 1.91\ m \quad (\text{Ec. 5.11})$$

$$\frac{1143\ lm}{1200\ lm/m} = 0.95\ m \quad (\text{Ec. 5.12})$$

$$\frac{1143\ lm}{1800\ lm/m} = 0.64\ m \quad (\text{Ec. 5.13})$$

Vemos que para un flujo luminoso de 600 lm/m el número de metros excede de las dimensiones de nuestra luminaria por lo tanto queda descartado. Las otras dos posibilidades serán las utilizadas en nuestra luminaria, la de 1200 lm/m para la luminaria mediana y los 1800 lm/m para el modelo pequeño.

- Consideración de la longitud de tira:

Los cálculos anteriores son simplemente una aproximación para ver si sería posible la utilización de dicho modelo. Una vez seleccionado el modelo debemos decidir la longitud real de la tira, para ello se ha de tener en cuenta que la tira está formada por subconjuntos enlazados de 10 cm de longitud, es por eso que la longitud de la tira tiene que ser múltiple de 10.

TABLA 5.17 y 5.18: Cálculos para escoger la longitud de tira adecuada

Tira 1200 lm/m		
Necesita 0.95 m	Redondeo Inferior	Redondeo superior
	0.9	1
Lúmenes emitidos	1080	1200
Lúmenes eficaces	756	840

Tira 1800 lm/m			
Necesita 0.64 m	Redondeo Inferior	Redondeo superior	Limitación de diseño
	0.6	0.7	0.5
Lúmenes emitidos	1080	1260	900
Lúmenes eficaces	756	882	630

Dónde:

$$Lm_{emitidos} = \text{flujo luminoso} \cdot m = 1200 \frac{\text{lm}}{\text{m}} \cdot 0.9 \text{ m} = 1080 \text{ lm} \quad (\text{Ec. 5.14})$$

$$Lm_{eficaces} = Lm_{emitidos} \cdot K_p = 1080 \text{ lm} \cdot 0.7 = 756 \text{ lm} \quad (\text{Ec. 5.15})$$

Para el primer caso vemos como los 0.9 m de tira será la mejor opción ofreciendo unos 756 lm eficaces. En el segundo caso vemos como los 0.6 m de tira sería la mejor opción pero tenemos una limitación en cuanto a diseño ya que la longitud de la tira sobrepasa el corte de la carcasa, por lo tanto se decide reducir la cantidad de metros a 0.5 m, obteniendo unos 630 lúmenes eficaces.

Bien es cierto que se puede modificar el diseño y prolongar el corte de la carcasa pero la idea de que dentro de la misma gama haya varias opciones de flujo luminoso es preferible y por esta razón se decide que la luminaria pequeña ofrezca menos luz, además de tener un diseño estándar que facilita la optimización del diseño y de la fabricación de nuestras piezas ya que lo único que variará será la longitud de la carcasa, del difusor y del soporte donde irá la tira de led.

5.2.3.3. Parámetros técnicos

En esta sección hace una breve explicación de los parámetros característicos de nuestra tira de led, se puede ver su ficha técnica completa en el anexo A9.25 junto con la de todos los otros componentes.

-Características de funcionamiento:

Las características más destacables de funcionamiento de nuestra tira se recogen en la tabla 5.19.

TABLA 5.19: Datos técnicos

Angulo luminoso	120º
Temperatura ambiente	-35 a 50ºC
Temperatura en la unión	65ºC
Temperatura máxima	75ºC
Voltaje de alimentación	24 V
Rango de voltaje de alimentación	21.5 a 36.4 V
Protección (EN 62471:2008)	0
Protección frente agentes atmosféricos	IP00
Clasificación energética	A ⁺ y A ⁺⁺
CRI	>80

-Disipación de calor:

También se presentan datos relacionados con la disipación del calor por cada 10 cm de tira utilizada, dichos valores nos limitarán a la hora de tener una superficie disipadora adecuada, para más información sobre la gestión térmica de la luminaria ir al punto 5.5.1.

TABLA 5.20: Valores para una correcta disipación de calor

LLE FLEX G2 1200 lm/m			
ta (°C)	tp (°C)	R _{th, hs-a} (K/W)	Área de disipación (cm ²)
25	65	-	auto disipación
35	65	-	auto disipación
45	65	17.8	37.5
50	65	12.6	53
LLE FLEX G2 1800 lm/m			
25	65	-	auto disipación
35	65	18.3	36.4
45	65	11.2	59.5
50	65	7.7	87.1

-Depreciación del flujo luminoso:

En la siguiente tabla se muestra la depreciación del flujo luminoso dado por el fabricante, de ella podemos sacar varias conclusiones con la ayuda del gráfico 5.1 donde se representa la depreciación del flujo en el caso más crítico, un porcentaje de falla del 10% (F10).

TABLA 5.21: Valores de mantenimiento del flujo luminoso

tp	L90/F10	L90/F50	L80/F10	L80/F50	L70/F10	L70/F50
45	50000 h	50000 h	50000 h	50000 h	50000 h	50000 h
55	41000 h	50000 h	50000 h	50000 h	50000 h	50000 h
65	22000 h	50000 h	42000 h	50000 h	50000 h	50000 h
75	12000 h	28000 h	23000 h	50000 h	50000 h	50000 h

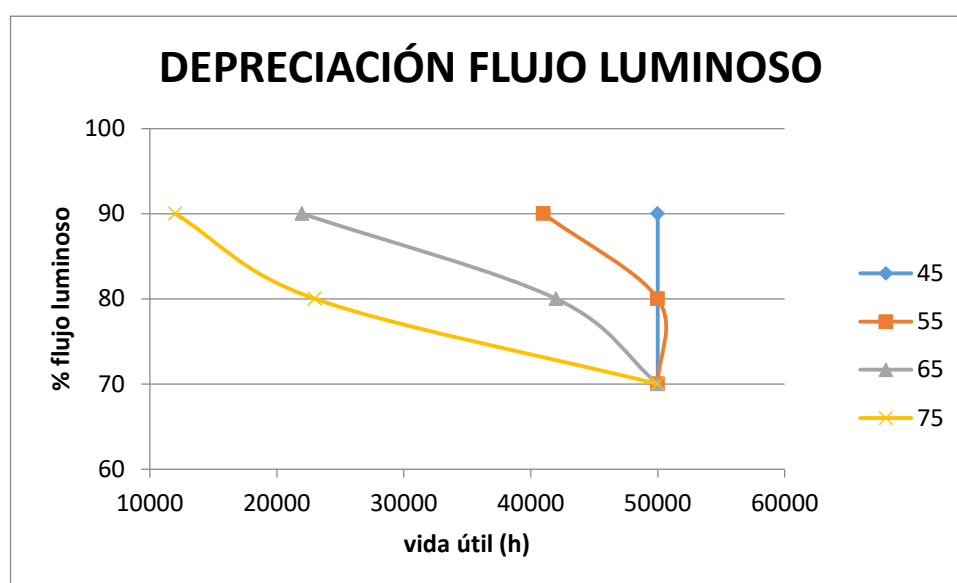


Gráfico 5.1. Depreciación del flujo luminoso según la temperatura de funcionamiento

Si se presta atención para un 90% de flujo luminoso vemos como a medida que se aumenta la temperatura se produce un salto muy amplio en cuanto a horas de vida útil de la tira led, es decir, nuestra luminaria empezará a depreciarse de manera vertiginosa.

Fijándose en las líneas de temperatura se ve como a mayor temperatura más variación se produce en el flujo luminoso, lo que se traduce en menos horas de vida útil, es aquí donde vemos la gran importancia de la disipación de calor porque si mantenemos nuestra luminaria entorno a los 45-55

°C, a pesar de que inevitablemente el flujo luminoso decaiga, el valor de la vida útil se mantendrá casi constante en las 50000 h. A pesar de la depreciación vemos como se garantiza un 70% de flujo luminoso a las 50000 h útiles de funcionamiento.

-Características fotométricas: coordenadas de color y curva espectral:

Tal y como se explicó en el capítulo 3 la elipse de MacAdam corresponde a una región concreta dentro del diagrama de cromaticidad y representa a cada uno de los colores distinguibles por el ojo humano, en la figura 5.28 se muestra la elipse de MacAdam para una TTC de 2700K.

Esta elipse tiene un punto central y su contorno representa las tolerancias admisibles para dicha TTC. La distancia del centro hasta dicho límite se mide en SDCM o clase de tolerancia. Si se tiene una SDCM de 1 querrá decir que no existe diferencia de color entre los leds, si se encuentra una SDCM de 2 o 3 querrá decir que la diferencia es mínima llegando a aceptar SDCM de hasta 7, casi imperceptible para el ojo humano.

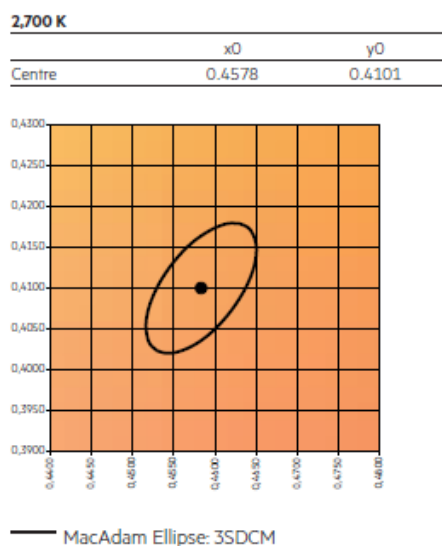


Figura 5.29. Elipse de MacAdam con 3 SDCM para 2700 K de TTC (Fuente: Referencia A9.25)

Por lo tanto se puede apreciar como la diferencia de color de los chips que forman nuestra tira led es prácticamente la misma por tener una SDCM de 3. También vemos como para una TTC de 2700K las coordenadas cromáticas son $x=0.4578$ y $y=0.4101$.

Otra de las características fotométricas de los leds es el llamado espectro de emisión o curva de respuesta espectral, en la siguiente imagen vemos como para esta TTC predomina una longitud de onda de 610 nm.

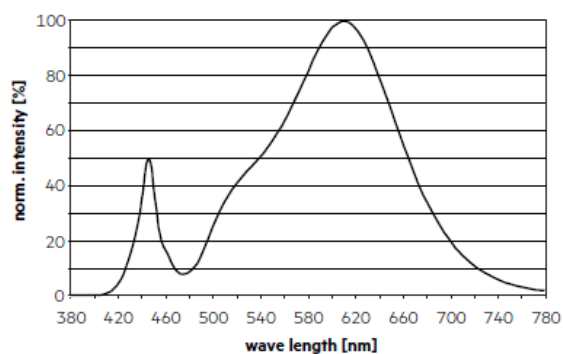


Figura 5.30. Espectro de emisión para una TTC de 2700 K (Fuente: Referencia A9.25)

Para otras TTC utilizadas se recogen sus características lumínicas en la tabla 5.22.

TABLA 5.22: Características lumínicas de las tiras de LED utilizadas

TTC	X0	Y0	SDCM	λ
2700	0.4578	0.4101	3	615
3000	0.4338	0.4030	3	610
4000	0.3818	0.3797	3	455
6500	0.3123	0.3282	3	450

-Distribución de la luz:

Otro de los datos importantes proporcionados por los fabricantes de led es la curva de distribución luminosa, vemos como en nuestro caso el led emite luz en un ángulo de 180°, valor que no podemos tomar como referencia ya que a esta obertura el flujo luminoso es despreciable.

Estas curvas son de gran utilidad porque podemos ver el valor del flujo luminoso según el patrón lambertiano de emisión superficial de los leds. Normalmente el ángulo máximo de emisión del led se determina respecto al 50% de su flujo luminoso por lo tanto tenemos un ángulo de 120° de emisión.

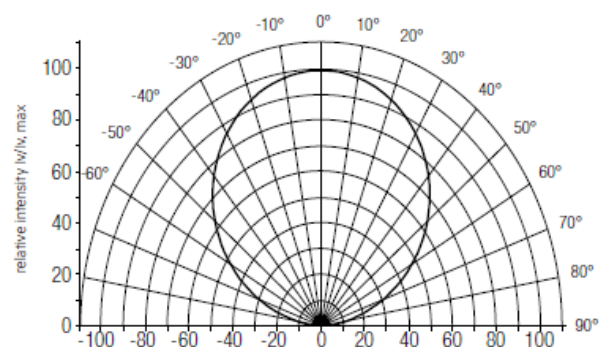


Figura 5.31. Distribución luminosa de la tira de LED (Fuente: Referencia A9.25)

Como ya hemos explicado anteriormente la distancia entre leds se convierte en un factor crítico a la hora de determinar la homogeneidad de la luz. En nuestro caso la separación entre chips es aproximadamente de 29 mm, veamos la intersección entre ellas en la figura 5.32.

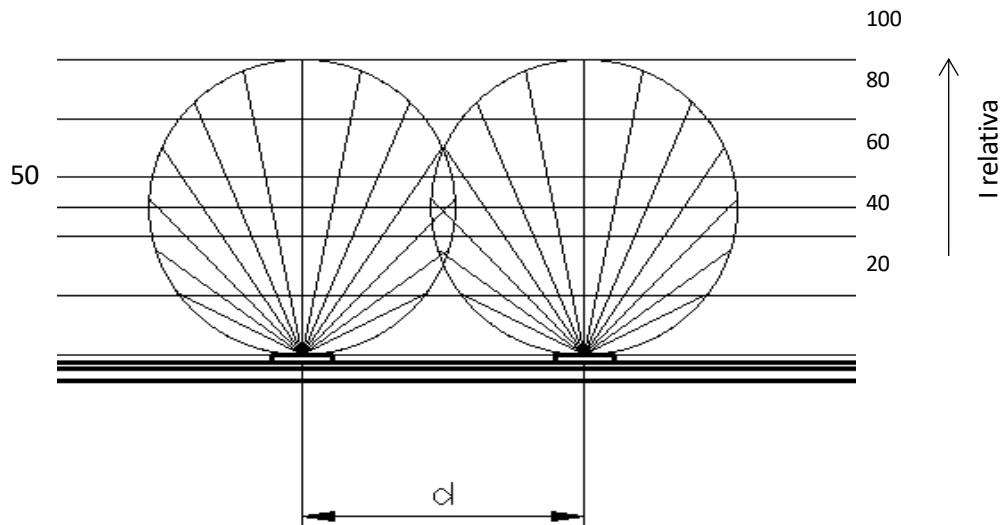


Figura 5.32. Intersección curvas de distribución para $d = 29$ mm (Fuente: Referencia A9.25)

Vemos como la intersección se produce en el 70% de flujo luminoso por lo que queda dentro del intervalo tolerado, esto no es suficiente para garantizar la homogeneidad de la luz ya que la luminaria dispone de otro elemento óptico importantísimo como lo es el difusor. La distancia a la que ponemos el difusor debe garantizar que esta intersección se produzca antes de llegar a él, nuestro difusor se sitúa a unos 25 mm de distancia de la superficie del led, veamos lo que sucede:

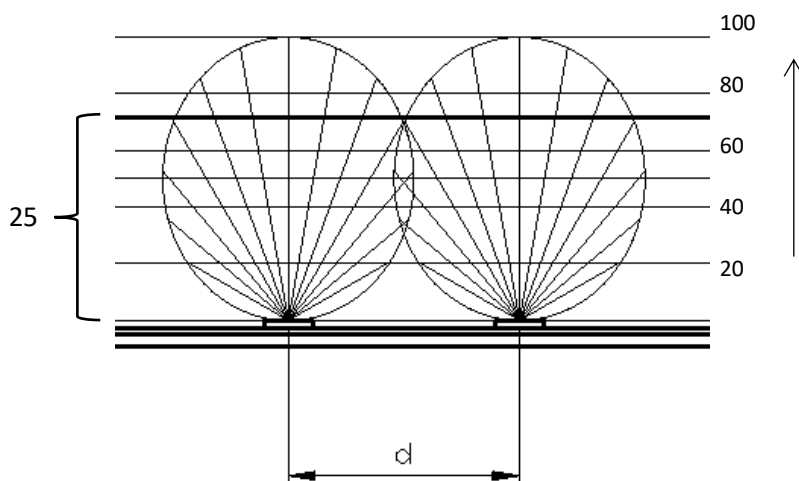


Figura 5.33. Colocación del difusor a una altura de 25 mm (Fuente: Referencia A9.25)

Vemos como la intersección entre curvas se produce antes de que la luz traspase el difusor cosa que garantiza la perfecta homogeneidad de nuestra luminaria. La opacidad de nuestro difusor nos permitirá también una mayor dispersión de la luz, en concreto el PC difuso utilizado tiene una transmitancia de 0.85 ya considerado en las pérdidas para el cálculo lumínico.

Por último queda analizar el uso del reflector, hemos visto como nuestra tira tiene una emisión de 180° de los que se consideran útiles unos 120° . Con la geometría de nuestra luminaria si no se utiliza reflector se perderá mucha luz a través de la cavidad dónde está instalada, en la figura 5.34 vemos como el reflector recoge el haz luminoso hasta los $80-90^\circ$ concentrando la luz que se perdería fuera de este dominio.

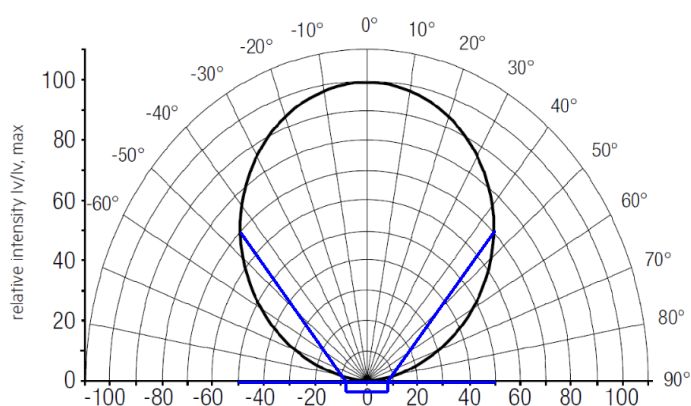


Figura 5.34. Uso del reflector con un ángulo de 80° (Fuente: Referencia A9.25)

-Flujo relativo vs. Temperatura tc:

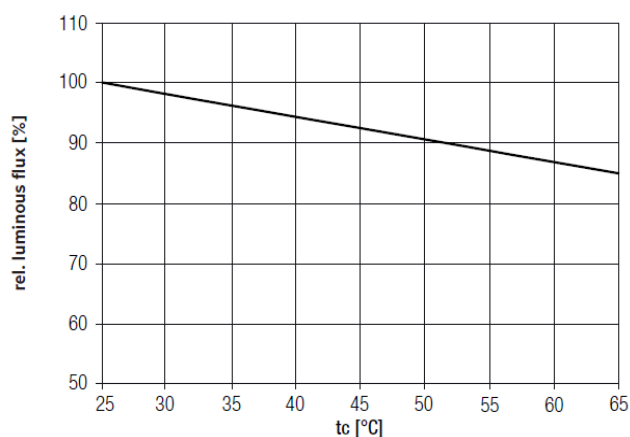


Figura 5.35. Colocación del difusor a una altura de 25 mm (Fuente: Referencia A9.25)

Hemos visto como la temperatura es un problema que afecta notablemente al led en su vida útil y su flujo luminoso. En la figura 5.34 vemos la depreciación del flujo a medida que la temperatura aumenta en la superficie, reduciéndose hasta un 15%.

5.3. Parte eléctrica y electrónica

5.3.1. Fuente de alimentación

El driver es el dispositivo electrónico encargado de transformar y adaptar la corriente y el voltaje entrante a la luminaria para proporcionar la tensión y la corriente de accionamiento adecuada al LED.

Es un paso clave en cuanto al diseño de esta luminaria porque proporciona energía al LED y si éste no se alimenta correctamente, podemos encontrarnos con varios problemas como lo son la reducción de su vida útil, el parpadeo de la luz proporcionada, obtención de un valor de flujo luminoso no deseado y un aprovechamiento inapropiado de la energía eléctrica consumida.

A continuación se explican las tipologías de fuentes de alimentación que hay en el mercado, cómo proporcionan la energía y los parámetros característicos de los LED driver. Esta información nos permitirá entender mejor el porqué de la selección de nuestros drivers, añadiendo una explicación más detallada de su funcionamiento.

5.3.1.1. Tipologías

Antes de definir el tipo de fuente de alimentación necesaria, explicaremos las tipologías más utilizadas existentes en el mercado. Principalmente los drivers se dividen en fuentes de alimentación lineales y conmutadas.

-Fuente de alimentación lineal:

Los drivers lineales son los más sencillos y económicos ya que no necesitan filtros muy costosos para conseguir la compatibilidad electromagnética. El esquema de funcionamiento de una fuente lineal es el siguiente:



Figura 5.36. Esquema de funcionamiento de una fuente de alimentación lineal (Fuente: propia)

El transformador es el encargado de adaptar los niveles de tensión y proporcionar aislamiento galvánico. Después pasamos a una fase de rectificación donde se convierte la corriente alterna en continua para posteriormente estabilizar la señal disminuyendo su rizado mediante filtros, por último pasaría a la fase de regulación.

Un regulador lineal de corriente puede ser tan simple como una resistencia en serie con la carga. Es un método muy utilizado para el control de tiras por su sencillez y bajo coste, el problema radica en la eficiencia de este método y en la dependencia lineal del voltaje, si se produce alguna caída de tensión importante en una tira larga, se produciría una variación de la intensidad de los leds que se encuentran al final de ella, recibiendo menos intensidad que los del principio y, como consecuencia, se ofrecería un menor flujo luminoso por lo que se perdería homogeneidad.

Otro tipo de regulador lineal son los interruptores de potencia, generalmente MOSFETs, su funcionamiento consiste en regular el flujo de corriente cerrando el circuito cuando se supere un valor definido y abriéndolo cuando éste disminuye. Este interruptor se enciende y se apaga en función del valor medio medido por un sensor de corriente, señal que posteriormente se compara mediante el comparador de voltaje el cual da la orden de funcionamiento del interruptor.

Como ya hemos comentado anteriormente, el problema de esta fuente de alimentación está en la eficiencia en la utilización de la potencia porque una parte de la energía se pierde en forma de calor (efecto Joule) cuando pasa por el elemento de regulación.

-Fuente de alimentación conmutada o switching:

Los drivers conmutados tienen la ventaja principal de aislar el voltaje de salida con el de entrada sin la necesidad de usar transformadores muy grandes y costosos. El esquema básico de una fuente de alimentación conmutada es el siguiente:



Figura 5.37. Esquema de funcionamiento de una fuente de alimentación conmutada (Fuente: propia)

El funcionamiento básico de este tipo de fuente consiste en conmutar (abrir y cerrar) el circuito a una frecuencia elevada, esto se hace para aprovechar la característica ventajosa del inductor o bobina con la capacidad de oponerse a los cambios de corriente almacenando energía en presencia de un

campo magnético cuando el circuito conduce (cerrado) y liberando energía cuando el circuito no conduce (abierto).

Este fenómeno provoca una caída de tensión que dependerá de la frecuencia de conmutación y de las características de la bobina es decir que, controlando el ciclo de conmutación podemos controlar tanto la corriente como la tensión de una forma muy eficiente.

Las desventajas que tiene una fuente conmutada respecto a las lineales son su complejidad y la generación de ruido eléctrico de alta frecuencia (40-50 kHz), es por esta razón que estas fuentes incorporan filtros para cumplir con la compatibilidad electromagnética y no causar interferencias a otros equipos.

Pero las ventajas son muy buenas, las fuentes conmutadas tienen un menor tamaño y un menor peso ya que no necesitan de un transformador para funcionar. La gran eficiencia también es un punto muy importante, puesto que evita pérdidas por calentamiento.

Existen multitud de tipologías de fuentes conmutadas pero hay tres esquemas principales que son la base de todas las otras variantes.

- *Buck*: esta fuente se utiliza para conseguir un voltaje de salida inferior al de la entrada. Tiene un esquema muy sencillo porque utiliza pocos componentes y alcanza eficiencias muy elevadas (95-97%).

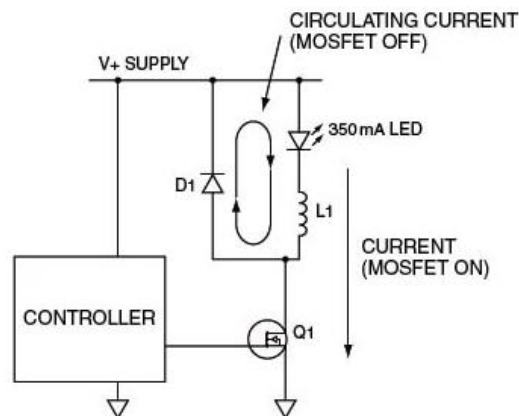


Figura 5.38. Esquema de funcionamiento fuente tipo Buck (Fuente: Referencia A9.09)

- *Boost*: esta fuente se utiliza para conseguir un voltaje de salida superior al de la entrada. Tiene la desventaja de necesitar un condensador de gran valor para estabilizar la corriente de salida que llega a los leds, dificultando la posibilidad de control por PWM. La eficiencia no es tan elevada como en un Buck pero también es muy buena (90-95%).

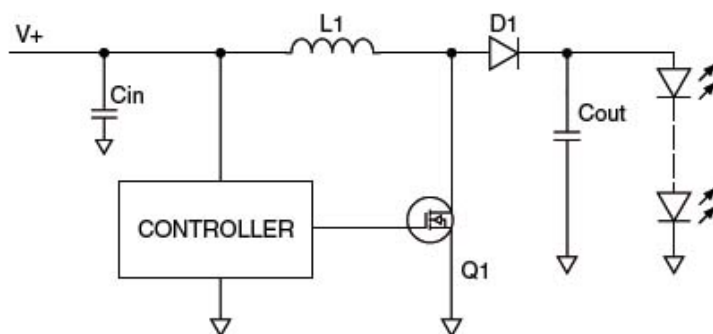


Figura 5.39. Esquema de funcionamiento fuente tipo Boost (Fuente: Referencia A9.09)

- *Flyback*: esta fuente puede conseguir tanto tensiones de salida superiores como inferiores, además de conseguir fuentes de alimentación aisladas con una eficiencia que puede llegar al 90%.

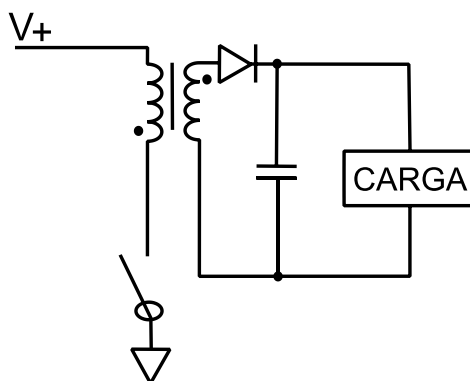


Figura 5.40. Esquema de funcionamiento de una fuente tipo Flyback (Fuente: Referencia A9.09)

5.3.1.2. Modos de suministro de energía

Como ya hemos explicado, el driver es el encargado de suministrar constantemente la energía requerida por el LED para su funcionamiento. En cuanto a la forma de suministrar energía se refiere, el driver puede utilizar dos modos de funcionamiento, dependiendo de las necesidades del tipo de LED o módulo a alimentar. Por eso existen dos tipos de driver en el mercado, se puede suministrar energía proporcionando tensión constante o proporcionando intensidad constante.

Los drivers de corriente constante suministran electricidad variando el voltaje, permitiendo así mantener la corriente constante a lo largo de todo el circuito. Estos drivers proporcionan un control absoluto sobre el flujo luminoso ya que al mantener la corriente constante evitan variaciones de luminosidad.

Los drivers de tensión constante trabajan de la forma contraria, lo que hacen es mantener una tensión fija a la salida variando la corriente. Este tipo de driver evita problemas a la hora de igualar corrientes en cadenas de leds pero tiene una desventaja importante, es menos eficiente en relación lumen/vatio consumido.

5.3.1.3. Parámetros técnicos

Para poder determinar la calidad de un driver se necesitan unos parámetros guía para comparar y seleccionar uno según nuestros intereses, se definen a continuación.

- La eficiencia:

Es el rendimiento que tiene un driver en el proceso de conversión de energía eléctrica de la red a energía aprovechada por los leds. En este proceso de conversión el driver consume una pequeña parte de energía, transformándola en calor. Todos los drivers tienen un punto de funcionamiento óptimo para el que se calcula el valor de eficiencia máxima, alcanzar este nivel de trabajo hará que se genere menos calor, cosa que provocará un aumento en su vida útil.

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \quad (\text{Ec. 5.16})$$

-El factor de potencia:

El factor de potencia se define como el desfase que se produce entre la señal de voltaje y la corriente, en el caso de tener forma sinusoidal como lo es la corriente alterna. Este desfase lo que provoca es un consumo extra de energía del tipo reactiva que, además de generar calor en el driver, en el ámbito no doméstico penaliza en la factura.

Un factor de potencia no elevado indica un menor desfase, es decir, un mejor aprovechamiento de la energía total. Es por esta razón que se recomienda la utilización de factores de potencia iguales o superiores al 85%.

Para entender bien el concepto de factor de potencia hacemos un repaso sobre los tipos de potencia existentes, la potencia activa, la reactiva y la aparente. Las podemos ver representadas en el triángulo de potencias de la figura 5.40.

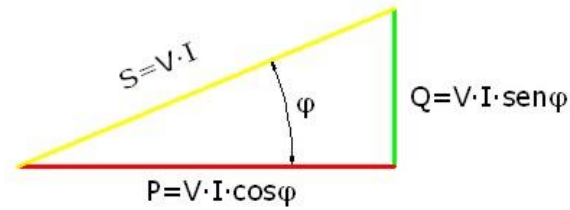


Figura 5.41. Triángulo de potencias (Fuente: Referencia A9.09)

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (\text{Ec. 5.17})$$

-*Potencia activa* → es la potencia que se disipa en forma de calor o trabajo, se designa con la letra P, también llamada potencia real y se mide en W.

-*Potencia reactiva* → es la potencia utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de los componentes que forman un circuito, se designa por la letra Q, también llamada potencia imaginaria y se mide en VAR.

-*Potencia aparente* → es la suma vectorial de la potencia activa y reactiva, es decir, es la representación de la potencia total de un circuito con impedancia Z, se designa por la letra S, también llamada potencia compleja y se mide en VA.

$$S = P + jQ \quad (\text{Ec. 5.18})$$

Entonces también se puede definir el factor de potencia como:

$$\begin{aligned} FP = \cos\varphi &= \frac{P_{fundamental}}{S_{fundamental}} = \frac{\frac{1}{T} \cdot \int v_i(t) \cdot i_{i(t)} dt}{V_{RMS} \cdot i_{RMS}} \quad (\text{Ec. 5.19}) \\ &= \frac{\frac{1}{T} \cdot \int v_i(t) \cdot i_{i(t)} dt}{\sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T [v(t)]^2 \cdot dt} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T [i(t)]^2 \cdot dt}} \quad (X) \end{aligned}$$

Dónde:

$$\varphi = \varphi_v - \varphi_i$$

RMS: valor eficaz

-El THD o distorsión armónica total:

El uso de drivers de conmutación de alta frecuencia provoca señales dañinas que si no se filtran bien provocan armónicos capaces de propagarse por la red eléctrica pudiendo afectar a otros dispositivos.

Estas señales se producen tanto en el voltaje como en la intensidad (vTHD y iTHD, respectivamente) a pesar de ser las iTHD las más perjudiciales y a la que normalmente nos referimos cuando hablamos de THD. El THD nunca debería pasar del 25%, siendo recomendable valores inferiores al 15% porque pueden ocasionar pérdidas en la potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, funcionamiento erróneo de las protecciones, daño en aislamientos, entre otros.

$$THD = \frac{\text{valor eficaz de la distorsión}}{\text{valor eficaz de la fundamental}} = \frac{I_{dist}}{I_1} = \quad (\text{Ec. 5.20})$$

$$\frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots + I_{h\max}^2}}{I_1} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h\max} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}$$

Dónde: h referido al armónico

Cuando se habla de armónicos nos referimos a las tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias múltiples generadas a partir de la frecuencia de trabajo (o fundamental f_1) del driver, es decir $2 \cdot f_1, 3 \cdot f_1, 4 \cdot f_1 \dots$

La presencia de estos armónicos produce una deformación en las señales, provocando una no linealidad de las cargas y, como consecuencia, la deformación del triángulo de potencias. Aparecen nuevos términos como el factor de desplazamiento y el factor de distorsión que, a su vez, produce una modificación directa en el factor de potencia, en la potencia reactiva y la potencia de distorsión.

Veamos estos conceptos en la figura 5.41 donde el triángulo de potencia se deforma cambiando su potencia reactiva (Q_{desp}) y apareciendo la potencia de deformación (D).

$$Q_{desp} = V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_v - \varphi_{i1}) \quad (\text{Ec. 5.21})$$

$$S_{total}^2 = P^2 + Q_{desp}^2 + D^2 \quad (\text{Ec. 5.22})$$

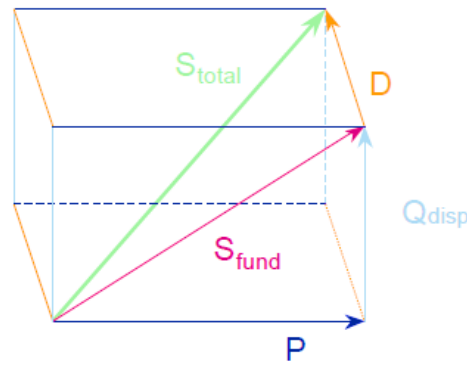


Figura 5.42. Triángulo de potencias con presencia de armónicos (Fuente: Referencia A9.09)

Entonces el factor de potencia en presencia de armónicos queda de la siguiente manera:

$$fp = fp_{desp} \cdot fp_{dist} = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_H}{S} \neq \cos \varphi \quad (\text{Ec. 5.23})$$

Dónde P_H es la potencia del armónico

El factor de potencia de desplazamiento es la componente de desplazamiento del factor de potencia y representa la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de la onda fundamental:

$$fp_{desp} = \frac{P_1}{S_1} = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_{v1} - \varphi_{i1})}{V_1 \cdot I_1} = \cos(\varphi_{v1} - \varphi_{i1}) = \cos(\varphi_{h1}) \quad (\text{Ec. 5.24})$$

Y el factor de potencia de distorsión es la componente de influencia de los armónicos:

$$fp_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}} \quad (\text{Ec. 5.25})$$

Finalmente, el factor de potencia se relaciona con la distorsión mediante la siguiente fórmula:

$$fp \cong \cos \varphi \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}} \quad (\text{Ec. 5.26})$$

-Flicker o rizado:

El flicker es un fenómeno que se aprecia como un parpadeo en la lámpara, provocando molestia visual. Esto es causa del rizado de la señal, este rizado es como un pequeño residuo de la componente alterna que queda al rectificar la señal a continua. Se puede asimilar este concepto al THD pero a la salida del driver, siendo peligroso para el led ya que se somete a un estrés adicional. Por esta razón es recomendable mantenerlo lo más bajo posible.

5.3.1.4. Protecciones

Como todo sistema eléctrico o electrónico los drivers tienen que cumplir los requisitos de seguridad establecidos por la normativa actual. Estas protecciones deben cubrir la seguridad frente a choque eléctrico, sobrecargas, contra excesos de temperatura y contra cortocircuito o circuito abierto, dependiendo del tipo de driver, si es un driver que proporciona corriente constante éste deberá cubrir la protección contra circuito abierto y si es un driver de voltaje constante, el de cortocircuito.

-Choque eléctrico:

Es la protección más crítica ya que es la responsable de proteger a los usuarios del riesgo de electrocución, esta protección recae sobre el tipo de aislamiento empleado. Según el aislamiento el driver se puede clasificar cómo:

-Clase 1: el driver dispone de conexión a tierra, encargada de derivar cualquier fuga indeseada de corriente.

-Clase 2: el driver dispone de doble aislamiento, es decir que las partes conductoras están diseñadas con doble capa de material aislante.

-Clase 3: ésta protección utiliza una fuente de muy bajo voltaje (o SELV, Safety Extra-Low Voltage) para protegerse, es una tensión tan baja que aunque una persona entre en contacto con ella no correrá ningún riesgo de descarga eléctrica.

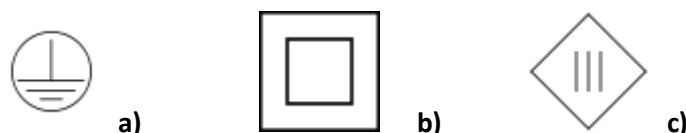


Figura 5.43. Simbología protección a) clase 1 b) clase 2 c) clase 3 (Fuente: UNE 60598-1)

-Sobrecarga:

La sobrecarga es un problema común que se produce cuando el consumo demandado por la carga excede de la potencia que el driver puede proporcionar.

En los drivers de tensión constante se comete el error de sumar la potencia de cada led sin tener en cuenta la potencia disipada a través de la resistencia reguladora. En los drivers de corriente constante el consumo viene dado solamente por el número de leds conectados en serie y es por eso que toda la potencia disponible se transmite directamente al led.

-Protección térmica:

Como en todo componente electrónico, el control de la temperatura de trabajo es de vital importancia para conseguir una larga vida útil del componente, para ello los drivers incorporan sensores de temperatura capaces de detener el proceso de conmutación cuando la temperatura de trabajo supere los valores admisibles.

-Cortocircuito:

Un cortocircuito es un fallo que se produce en la línea eléctrica cuando dos conductores de diferente polaridad entran en contacto, sin ninguna impedancia entre ellos. Al tener impedancia igual a cero la intensidad tiende a infinito, provocando un incremento muy brusco en intensidad y temperatura, capaz de poner en peligro la integridad de cables y componentes debido al efecto Joule. Por esta razón este problema solo puede aparecer en drivers de voltaje constante.

Para cubrir este problema, el driver incorpora sensores de tensión que cuando detectan un nivel de tensión bajo, evitan seguir con el bucle de realimentación, abriendo el circuito.

Otra de las razones que pueden causarlos son el despuntado incorrecto en los cables, un diámetro excesivo del conductor, un defecto aislante del conductor o la estrangulación del cable.

-Circuito abierto:

En los drivers de corriente constante, a medida que aumenta la resistencia de la carga, la tensión también lo hace para mantener la corriente constante. Si se produce un funcionamiento en vacío tendremos una resistencia infinita, cosa que a la vez, provocaría una tensión infinita.

Pero el circuito no puede proporcionar una tensión infinita, es aquí cuando se activa su protección frente a circuito abierto, fijando el valor máximo de tensión a la que el driver puede funcionar.

5.3.2. Selección del driver

Como dijimos en el capítulo 4, uno de los requisitos que tiene que cumplir nuestra luminaria es la posibilidad de tener una conexión directa a AC y otra a DC. La red eléctrica residencial española tiene una tensión de 220 VAC, es por eso que ofrecemos esta opción para poder conectar directamente la luminaria a la red.

Por otro lado existen otras líneas de muy baja tensión instaladas en lugares concretos para disminuir el riesgo eléctrico, este es el caso de instalaciones cercanas a piscinas e instalaciones en jardines u otras zonas húmedas.

En Vecxa trabajamos con proveedores de calidad contrastada como lo son Mean Well, Tridonic, Alvit, ELT, entre otros. Es por eso que la búsqueda de nuestro driver se concentrará en estas marcas.

Pero no podemos seleccionar un driver cualquiera, tenemos que seleccionar un driver con la potencia necesaria para cubrir las necesidades de nuestra tira LED. Aparte, tenemos unas limitaciones y requerimientos para su selección, son los siguientes:

- Driver de tensión constante: nuestra tira trabaja con un voltaje de alimentación a 24V.
- Potencia suministrada: la suficiente para alimentar la tira LED pero a la vez lo más reducida posible para evitar un consumo excesivo de energía.
- Espacio de instalación: tenemos espacio suficiente pero es preferible un driver de dimensiones compactas para reducir los niveles de generación de calor, normalmente a potencias menores tamaños menores.
- Eficiencia de más del 80%: ayuda a reducir pérdidas innecesarias tanto en potencia como en coste debido a la potencia reactiva.
- Factor de potencia: éste debe ser próximo o superior al 85 %.
- THDI: debe situarse en torno al 15-20%

Además, para cumplir con la normativa aplicable para luminarias el driver tiene que cumplir con la Compatibilidad electromagnética por lo que debe cumplir con las normativas UNE-EN 61000-3-2, 61000-3-3, 55015, y 61547.

5.3.2.1. Driver AC/DC

El driver AC/DC seleccionado es el APV-12-24 de la marca Mean Well, fabricante líder en LED drivers. Es un driver con entrada universal AC que cubre todo el rango (90-264 VAC), está protegido contra

cortocircuitos, sobrevoltajes y sobre cargas, con un nivel IP42, una clase de protección frente a choque eléctrico del tipo 2 y una eficiencia del 84%.



Figura 5.44. Driver APV-12-24 de Mean Well (Fuente: Referencia A9.29)

Su tensión de salida viene marcada por la alimentación de la tira por lo que será de 24V y una potencia de 12W, la suficiente y necesaria para cubrir el consumo de nuestra tira de LED. En la tabla 5.23 vemos la potencia requerida por cada tira utilizada, veremos cómo una potencia de 12W es suficiente para cumplir con las necesidades.

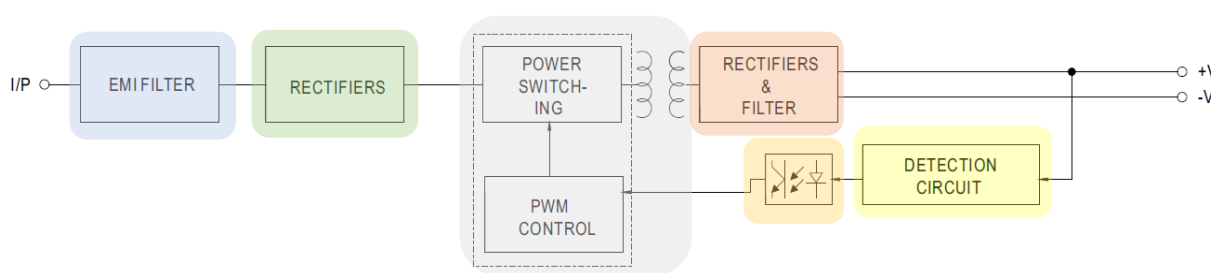
TABLA 5.23: Cálculo de la potencia necesaria para la tira de LED

Referencia de tira	lm/m	TTC	metros requeridos	W/m consumidos	W/m FS=1.15	W total	W FS
LLE FLEX G2 8x4800 8W-1200lm/m 827 ADV	1200	2700	0,9	7,8	8,97	7,02	8,07
LLE FLEX G2 8x4800 8W-1200lm/m 830 ADV	1200	3000	0,9	7,8	8,97	7,02	8,07
LLE FLEX G2 8x4800 7W-1200lm/m 840 ADV	1200	4000	0,9	7,4	8,51	6,66	7,66
LLE FLEX G2 8x4800 7W-1200lm/m 865 ADV	1200	6500	0,9	7,4	8,51	6,66	7,66
LLE FLEX G2 8x4800 12W-1800lm/m 827 ADV	1800	2700	0,5	11,8	13,57	5,9	6,79
LLE FLEX G2 8x4800 12W-1800lm/m 830 ADV	1800	3000	0,5	11,8	13,57	5,9	6,79
LLE FLEX G2 8x4800 11W-1800lm/m 840 ADV	1800	4000	0,5	11,3	13	5,65	6,5
LLE FLEX G2 8x4800 11W-1800lm/m 865 ADV	1800	6500	0,5	11,3	13	5,65	6,5

En el anexo A9.29 se adjunta la ficha técnica del driver, podemos observar cómo se cita que los valores eléctricos dados tienen una tolerancia del 15%, es por esta razón que en la tabla anterior aparece el término de factor de seguridad de 1.15, incorporando esta tolerancia en el caso más desfavorable de consumo máximo.

-Diagrama de bloques driver AC/DC:

A continuación se muestra el diagrama de bloques del circuito electrónico del driver para posteriormente explicar más detalladamente sus partes y su funcionamiento:



A-Filtro EMI

C-Regulador conmutado: switching + PWM

E-Circuito de detección

B-Rectificadores

D-Rectificadores y filtros

F-Optoacoplador

Figura 5.45. Esquema de funcionamiento APV-12-24 de Mean Well (Fuente: Referencia A9.29)

A) Filtro de interferencia electromagnética o EMI:

Las interferencias electromagnéticas son un fenómeno que ocurre cuando el campo electromagnético de un dispositivo impide, interrumpe o altera el campo electromagnético de otro dispositivo afectando en su rendimiento. Estos campos son el resultado del paso de la electricidad a través de los cables, circuitos impresos y componentes electrónicos, entre otros.

Estos ruidos se generan cuando ocurre un pico a alta frecuencia en la señal eléctrica (llamados transitorios de red), ya sea de corriente o de tensión, normalmente provienen del circuito primario de los sistemas de conmutación.

Los filtros EMI evitan estas interferencias, tanto las emisiones entrantes como las que el mismo dispositivo irradia ya que el ruido generado por las fuentes conmutadas se propaga por la red descontroladamente, afectando a aquellos dispositivos que comparten la misma red.

Son elementos pasivos ya que pueden disipar o almacenar energía, es por eso que los componentes que lo forman son conjuntos inductivos formados por condensadores y bobinas, responsables de dejar pasar la frecuencia de 50 Hz y atenuar todas las otras frecuencias o, mejor dicho, la banda de rechazo de frecuencias.

Los condensadores tienen la función de inhibir, es decir acumular estas interferencias y dejar pasar la corriente mientras que las bobinas están formadas por pequeños electroimanes que tienen la función de mantener la energía del campo magnético y la corriente eléctrica del circuito.

B) Rectificadores:

Un rectificador es un tipo de circuito capaz de convertir la corriente alterna en corriente continua. Para realizarlo emplea varios elementos, el más básico es el uso de un diodo rectificador que recorta la onda entrante de forma parcial o completa. La corriente entrante al rectificador es de tipo alterna, con medio ciclo de polaridad positiva y el otro medio de polaridad negativa, alternándose tantas veces como ciclos de frecuencia tenga.

En el proceso de rectificación de media onda, cuando la corriente entrante es negativa circulará corriente a través del diodo con polarización directa, después pasará a través de la carga, dónde aparecerá una corriente directa como respuesta de este medio ciclo.

Cuando la corriente entrante sea positiva los electrones cambiarán el sentido de su circulación, siendo imposible su circulación en el circuito y obteniendo corriente cero en la carga, recortando así el medio ciclo de corriente alterna entrante.

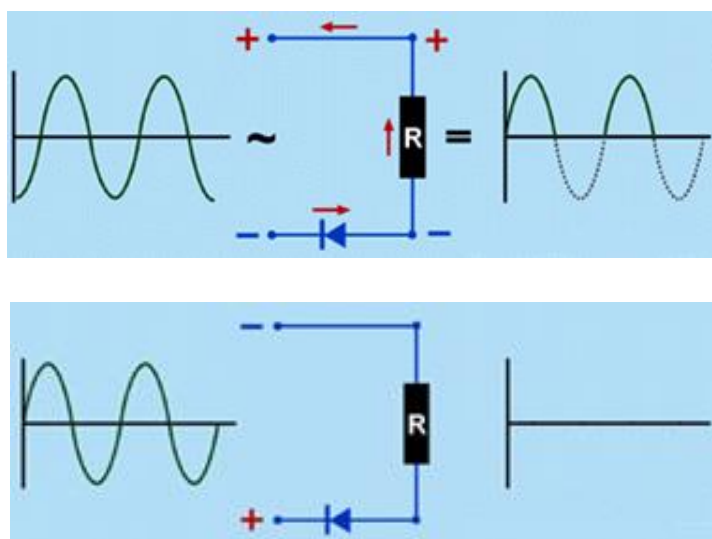


Figura 5.46. Rectificación de AC a DC rectificador de media onda (Fuente: Referencia A9.17)

Pero lo que se busca es la obtención de corriente DC lineal, para obtenerla se utilizan los llamados rectificadores de onda completa, una combinación de dos o cuatro diodos.

Para realizar la conversión se emplea un circuito como el de la figura 5.46. Esta derivación permite alimentar a cada diodo por igual gracias a la simetría del circuito, donde el punto medio del bobinado secundario será el polo negativo mientras que el polo positivo irá cambiando cada medio ciclo de frecuencia, obteniendo una corriente directa de onda completa a la salida del rectificador.

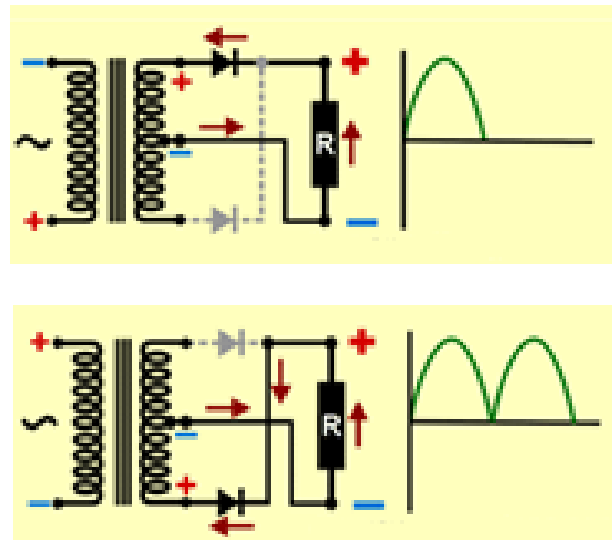


Figura 5.47. Rectificación de onda completa (Fuente: Referencia A9.17)

Otros métodos más avanzados de rectificación incorporan tiristores que recortan la onda sinusoidal en un ángulo comprendido entre 0 y 180°. Otros también incorporan transistores MOSFET que son muy útiles en circuitos de MBT (muy baja tensión) ya que no necesitan tener un mínimo de tensión lindar como es el caso de los diodos.

C) Regulador conmutado: switching y control PWM:

El regulador es la etapa más importante dentro de nuestra fuente de alimentación, es el driver propiamente dicho. Tiene la función de mantener la tensión o la corriente de salida estables, solucionando problemas como variaciones en la tensión de alimentación, cambios en la carga (cantidad o potencia de los leds) y posibles cambios de temperatura.

El PWM o modulación por ancho de impulsos modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica para enviar información de manera analógica. También puede tener otras funciones como la de controlar la energía proporcionada a la carga aunque su función básica es la de obtener una señal analógica.

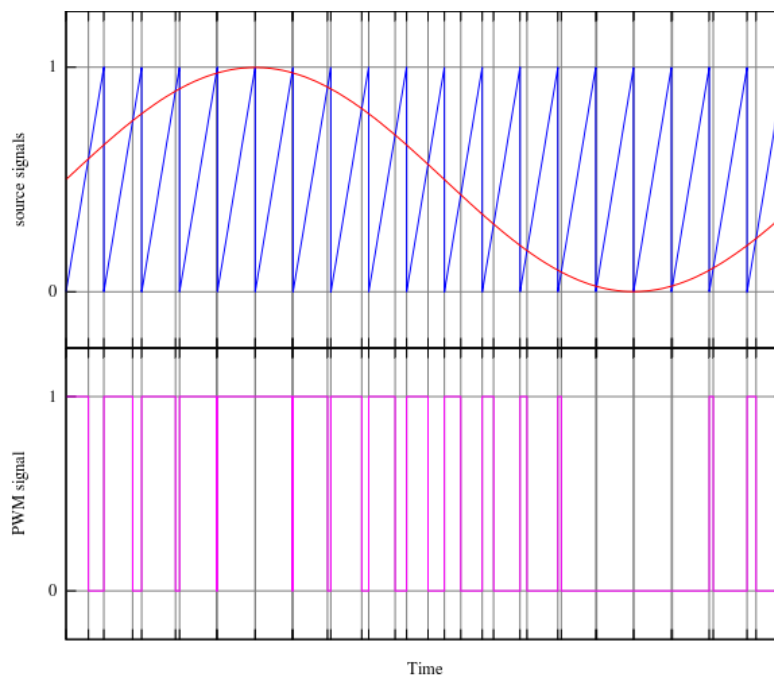


Figura 5.48. Esquema de funcionamiento PWM (Fuente: Referencia A9.18)

El control PWM utiliza una señal de control rectangular que tiene un ancho de impulso variable en forma continua que actúa como un comparador y depende de las exigencias energéticas del consumo y las características para las que ha sido diseñado.

Con la imagen 5.47 podemos entender su funcionamiento, básicamente lo que hace el control PWM es comparar dos señales mediante el comparador que incorpora, en este caso se compara la señal roja con la azul. El comparador tiene asignada una función lógica programada según la función que se quiera obtener, en este caso se obtiene un uno cuando la señal roja sea mayor a la azul.

Aplicándolo a nuestro driver, podemos ver de forma clara que el PWM nos informa sobre el estado de la señal de salida del circuito secundario, traduciendo esta señal a una señal analógica que posteriormente marcará el encendido del switching.

El power switching es una especie de interruptor que lo que hace es abrir y cerrar el circuito primario según la frecuencia marcada por la señal proporcionada por el PWM, generando la tensión necesaria en el circuito secundario.

D) Rectificadores y filtros:

El circuito secundario está compuesto básicamente por rectificadores y filtros necesarios para obtener la forma final deseada para la señal de salida.

A la salida lo que se necesita es acumular los pulsos o señales de alta frecuencia que provienen de la fuente conmutada, es un concepto muy similar al rectificador de entrada pero con la diferencia de que aquí la señal no tiene componente negativa y que la frecuencia de operación ya no será de 50 Hz, es por este motivo que utilizaremos lo que se conoce como rectificador de alta frecuencia.

Este rectificador estará formado por un diodo y un condensador diseñados para trabajar a esas frecuencias. Los pulsos se acumularán en el condensador y cuando éste esté cargado, proporcionará la tensión necesaria para la alimentación de los leds. La función del diodo será la de evitar la descarga de dicho condensador.

Además esta tensión o corriente generada tiene que filtrarse mediante los filtros, explicados con anterioridad, para proporcionar una señal limpia de armónicos.

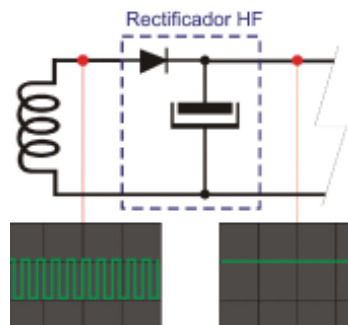


Figura 5.49. Esquema de un rectificador de alta frecuencia (Fuente: Referencia A9.19)

E) Circuito detector:

El circuito detector está formado por varios sensores, el más importante es el sensor de tensión, es el que nos informa del estado de la tensión generada. Además incorporan otros sensores de protección como el de sobrecarga y el de cortocircuito para saber en todo momento el estado del driver y tener una capacidad rápida de actuación frente a cualquier problema.

F) Optoacoplador:

Un optoacoplador es un dispositivo de emisión y recepción óptico formado por un diodo LED IR (de emisión infrarroja) y un fototransistor, un fototransistor es un transistor sensible a la luz y puede trabajar de dos maneras, una como un transistor normal con la corriente de base I_b (modo común) o como fototransistor, conduciendo una corriente eléctrica I_p proporcional a la cantidad de luz que lo activa (modo iluminación).

El modo iluminación se debe a que los fotones de luz entran en contacto con la base, se generan huecos y con ello una corriente base, llevando al transistor a un estado de conducción.

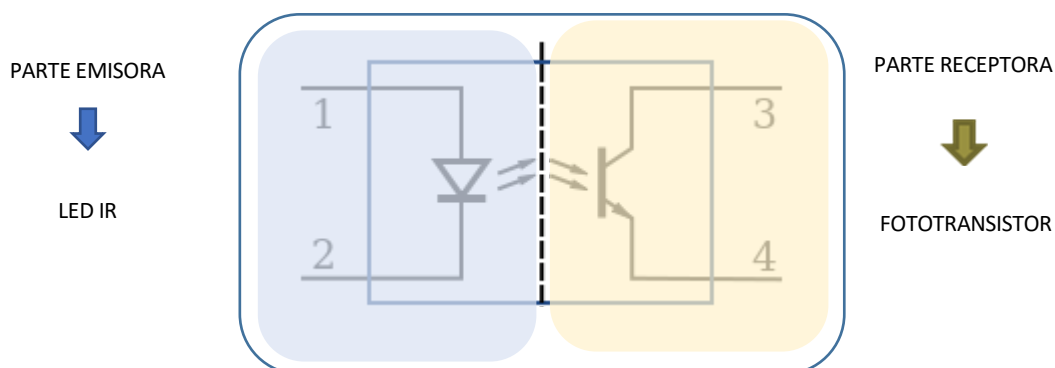


Figura 5.50. Esquema de funcionamiento de un optoacoplador (Fuente: propia)

La función principal de un optoacoplador es la de transmitir una señal de un circuito a otro, sin que exista conexión eléctrica entre dichos circuitos. Es el sistema perfecto para una realimentación aislada eléctricamente y garantizando así la seguridad del usuario. Nuestro driver lo que hace es leer la señal del sensor de voltaje del circuito de detección y enviarlo para una comparación en el control PWM.

-Curvas características:

En la figura 5.50 vemos la recta de carga de nuestro driver según la temperatura, parámetro crítico a controlar en electrónica en general. A medida que ésta aumenta, la capacidad de funcionamiento del driver disminuye, básicamente lo que nos proporciona esta curva es información sobre las temperaturas críticas de utilización en este caso, a partir de los 45 °C la capacidad disminuye y deja de funcionar para una temperatura crítica de 70 °C.

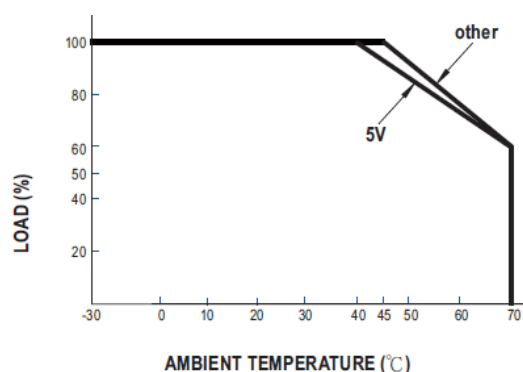


Figura 5.51. Variación de la carga según la temperatura ambiente (Fuente: Referencia A9.29)

5.3.2.2. Driver DC/DC

La necesidad de proporcionar una opción de conexión a corriente alterna y a continua es un hecho en todos los productos de Vecxa. Existen drivers DC/DC pero normalmente los encontramos proporcionando intensidad constante, se da el caso que según las prestaciones de alimentación de nuestra tira este driver DC/DC es difícil de encontrar por lo que tendremos que fabricarlo.

Para ello se seleccionará la parte interna del driver y posteriormente se fabricará su caja en una empresa especializada. Tal y como se citó en el apartado alcance del proyecto el diseño del prototipo explicado en este proyecto se basa solamente en la utilización de un driver para AC, a pesar de explicarse la selección del tipo de transformador a continuación.



Figura 5.52. Transformador DC/DC PSD-15X-24 (Fuente: Catálogo Olfer)

El driver DC/DC seleccionado es el PSD-15X-24 de la marca Mean Well, este driver dispone de tres modelos según su alimentación, encontramos el PSD-15A-24 con un voltaje de entrada de 9.2 a 18 V, PSD-15-24 para un voltaje de 18 a 36 V y el PSD-15C-24 para un voltaje de 36 a 72 V, cubriendo así un amplio rango de corriente directa.

Su tensión de salida obviamente es de 24 V y tiene 15 W de potencia, más que suficiente como vimos en la tabla 5.23. Sus eficiencias van del 72 al 79 %, éstas son inferiores al driver AC/DC pero por sus características de funcionamiento es mayor a la de otros drivers similares.

Está protegido frente a sobrecargas y sobrevoltajes además de cumplir con la compatibilidad electromagnética, su funcionamiento sigue siendo el mismo que el de cualquier fuente de conmutación.

5.3.3. Cableado

El sistema de cableado y sus componentes se desarrollarán en este punto dónde principalmente se realizará el cálculo para las secciones y la explicación de los componentes involucrados.

En cuanto al cableado presente en nuestra luminaria lo dividiremos en tres partes, la primera corresponde al cableado del driver, la segunda al cableado que va de la regleta de conexión hacia la entrada del driver y la tercera al cableado que va de la salida del driver a la tira de LED.

Los componentes se detallarán a posteriori, veamos las imágenes del cableado.

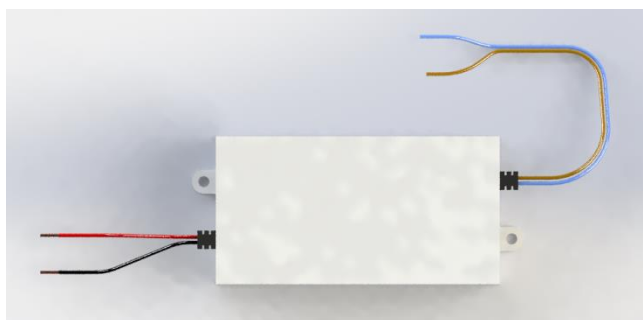


Figura 5.53. Parte 1: cableado driver, entrada 18 AWG y salida 20 AWG (Fuente: propia)



Figura 5.54. Parte 2: cable 2x1mm² con longitud 22 cm (Fuente: propia)

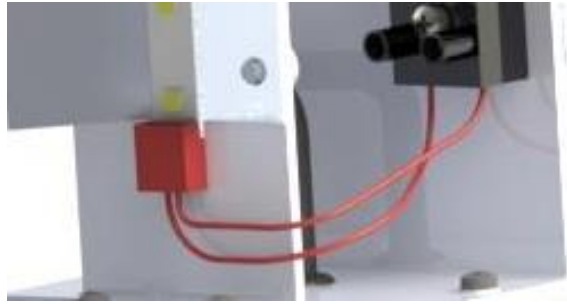


Figura 5.55. Parte 3: clip conector 22 AWG con longitud de 30 cm (Fuente: propia)

5.3.3.1. Cálculo de secciones

Para el cálculo del cableado tenemos en cuenta tres criterios, el primer criterio es la resistencia del cable, el segundo es la corriente admisible por el cable para evitar su sobrecalentamiento y el tercer criterio está relacionado con la caída de tensión máxima aceptable según el REBT.

La justificación de las secciones utilizadas es la siguiente. Partimos del driver, nuestro driver tiene una entrada y una salida con secciones de 18 AWG y 20 AWG respectivamente. Para seguir la sección a la entrada del driver se utiliza el mismo tipo de cable en la parte dos y para la parte tres la sección viene determinada por el fabricante, 22 AWG, lo único que queda es comprobar si estas secciones son suficientes o no.

-1r Criterio, resistencia:

La resistencia de un conductor viene dada por la fórmula 5.27 y su resistividad por la 5.28:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (\text{Ec. 5.27})$$

$$\rho(T) = \rho(20^\circ) \cdot (1 + (\alpha \cdot (T - 20))) \quad (\text{Ec. 5.28})$$

Dónde:

$$\rho(20^\circ)_{Cu} = 1.72 \cdot 10^{-8} \, \Omega \cdot m$$

$$\alpha_{Cu} = 3.9 \cdot 10^{-3} \, \frac{1}{^\circ C}$$

Y para una temperatura de uso de 40 °C:

$$\rho(40^\circ C) = 1.72 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + (3.9 \cdot 10^{-3} \cdot (40 - 20))) = 1.85 \cdot 10^{-8} \quad (\text{Ec. 5.29})$$

Por lo que la sección se consigue aislando la fórmula 5.27 y según su longitud y resistencia:

$$S = \frac{1.85 \cdot 10^{-8} \cdot l}{R} \quad (\text{Ec. 5.30})$$

En la tabla 5.24 se muestran los valores utilizados para el cálculo, en todos los casos vemos como la sección necesaria es inferior a la utilizada por lo que se cumple el primer criterio. A continuación se desarrolla el proceso de cálculo para el caso de la parte 3.

TABLA 5.24: Valores de cálculo y resultados de sección necesaria

Parte	Cable	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Resistencia (Ω/Km)	Sección necesaria
1	18 AWG	0.83	0.14	23.3	0.79
	20 AWG	0.5	0.14	33.3	0.54
2	2x1 mm ²	1	0.22	19.5	0.95
3	22 AWG	0.35	0.3	52.9	0.35

$$R_3 = 52.9 \frac{\Omega}{Km} \cdot \frac{1 Km}{10^3 m} \cdot 0.3 m = 1.59 \cdot 10^{-2} \Omega \quad (\text{Ec. 5.31})$$

$$S_3 = \frac{1.85 \cdot 10^{-8} \cdot 0.3}{1.59 \cdot 10^{-2}} = 3.5 m^2 = 0.35 mm^2 \quad (\text{Ec. 5.32})$$

-2o criterio, corriente admisible:

Según la instrucción MIE BT-017 se determina la intensidad admisible para diferentes tipos de cable, para las secciones utilizadas se recogen estos datos en la tabla 5.25.

TABLA 5.25: Corriente máxima admisible según su sección

Sección(mm ²)	I _{adm} (A)
0.5	7.5
0.75	10
1	13

Entonces solo nos queda ver si la intensidad que pasa por los diferentes cables es inferior a la admisible, en la tabla 5.26 vemos como también podemos considerar cierto este segundo criterio.

TABLA 5.26: Comparación de corrientes para nuestros cables

Parte	I(A)	I _{adm} (A)
1	0.2	13
	0.5	10
2	0.2	17
3	0.5	7.5

-3r criterio, caída de tensión:

La caída de tensión máxima admisible permitida (ΔV) en el ámbito de la iluminación es del 3%, para el cálculo de secciones con este criterio utilizaremos dos fórmulas según el tipo de corriente, continua o alterna. Para alterna usaremos la fórmula 5.33 y para alterna la 5.34.

$$S_{DC} = \frac{2 \cdot I \cdot 0.019 \cdot L}{\Delta V} \quad (\text{Ec. 5.33})$$

$$S_{CA} = \frac{2 \cdot P \cdot L}{48 \cdot \Delta V \cdot V} \quad (\text{Ec. 5.34})$$

Calcularemos las secciones justificando el caso para la parte 1, se recogen los resultados según este criterio en la tabla 5.27. Podemos ver como las secciones necesarias obtenidas son muy pequeñas, este criterio se utiliza normalmente cuando disponemos de líneas más extensas por lo que se puede obviar.

TABLA 5.27: Secciones necesarias según el criterio de caída de tensión

Parte	Voltaje	Sección (mm ²)	Longitud (m)	I o P	S _{necesaria}
1	230 V CA	1	0.14	12 W	0.01
	24 V DC	0.75	0.14	0.5 A	0.09
2	230 V CA	1	0.22	12 W	0.01
3	24 V DC	0.5	0.3	0.5 A	0.19

$$S_{DC,1} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 0.019 \cdot 0.14}{0.03} = 0.09 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 5.35})$$

$$S_{CA} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 0.14}{48 \cdot 0.03 \cdot 230} = 0.01 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 5.36})$$

5.3.3.2. Componentes utilizados

Existen otros componentes utilizados en nuestro circuito necesarios para realizar las conexiones y proteger nuestra luminaria. A continuación se citan dichos componentes explicando su funcionalidad.

-Conjunto conector:

Utilizado para la conexión del driver y para facilitar su reemplazabilidad, es capaz de soportar hasta 15 A de intensidad y 400 V de voltaje, además acepta secciones de cables de hasta 1.5 mm², suficientes para hacer nuestras conexiones.

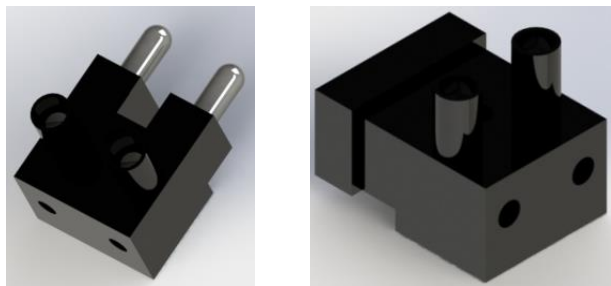


Figura 5.56. Conjunto conector (Fuente: propia)

-Abrazaderas de sujeción:

Es recomendable la utilización de elementos de fijación para los cables ya que protegen contra tracciones y torsiones.

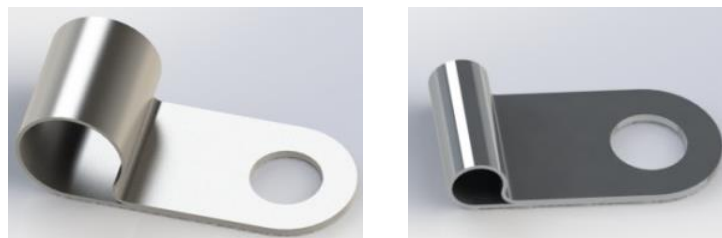


Figura 5.57. Abrazaderas para cableado del driver (Fuente: propia)

-Pasacables:

Las aristas vivas pueden dañar los cables debido a rozamiento, para cumplir con la normativa es necesario evitar este contacto por lo que se utiliza este componente.



Figura 5.58. Pasacables protector (Fuente: propia)

-Regleta de alimentación:

Regleta de conexión de tres polos con fijación mediante tornillo, tiene la capacidad de soportar intensidades y tensiones de hasta 16 A y 450 V respectivamente. También integra toma a tierra para derivar cualquier corriente indebida se fija mediante un remache de aluminio.

El método de conexión de la alimentación es por presión y admite cables de hasta 1.8 mm de diámetro. Este componente dota a nuestra luminaria de protección frente a los choques eléctricos por incorporar la toma a tierra por lo tanto se clasifica la luminaria como una de clase I según la norma UNE-EN 60598-1.

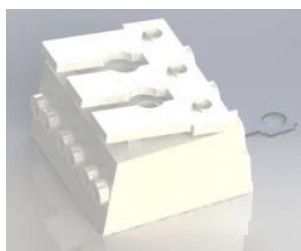


Figura 5.59. Regleta de conexión por presión con toma a tierra integrada (Fuente: propia)

-Prensaestopas:

El prensaestopas es un sistema de sellado por compresión que permite aislar la luminaria frente al polvo, agua o la humedad. El cable de alimentación pasa a través de su orificio que admite diámetros de 3 a 6.5 mm. Nuestro prensaestopas tiene una IP de 68.



Figura 5.60. Prensaestopas de latón con M12 e IP68 (Fuente: propia)

5.4. Componentes

La parte de componentes es otra de las partes fundamentales en este diseño ya que es la responsable de proporcionar un punto de conexión entre todas las otras partes. Cada uno de los componentes desarrolla su propia función pero básicamente son los responsables de unir las piezas mecánicas y proteger nuestra luminaria.

Se clasifican los componentes utilizados según el subconjunto al que pertenecen, los componentes que no pertenecen a ningún subconjunto sino que proporcionan una unión entre los subconjuntos se clasifican en el grupo de otros.

5.4.1. Subconjunto 3: soporte

TABLA 5.28: Componentes conjunto soporte

Denominación	Descripción	Función	Marca	Ud.
Module LLE FLEX G2 8mm ADV	Familia tira de LED de 1200 y 1800 lm/W con TTC de 2700, 3000, 4000 y 6500 K	Fuente de luz LED, potencia de 1200 lm/W para modelo 400 y potencia 1800 para mediano	8	0.5/ 0.9 m
1000357	Tornillo DIN 912 M5x0.5 L10 acero A2	Fijación varillas soporte con pieza unión soporte	3	3
28000994	Clip de conexión wire to PCB	Conexión con clip de la tira de LED hacia conector hembra	12	1
JT06.09.003-D91S3	Junta tórica silicona Di 91 sección 3	Centrador del soporte y amortiguador de vibraciones	14	1
M3x8/D7985-A2	Tornillo DIN 7985 M3 L8 acero A2	Fijación piezas soporte driver y soporte tira de LED con la pieza unión soporte	15	6
M3/BN781	Arandela DIN 6798A dentada M3 acero	Asegurar la unión roscada	16	6
28.901.U164	Push to fix P2F 4.3 mm CrNi	Fijación de los reflectores a la pieza soporte tira de LED.	17	12/16



Figura 5.61. Componente Module LLE FLEX G2 8mm ADV y su situación (Fuente: propia)

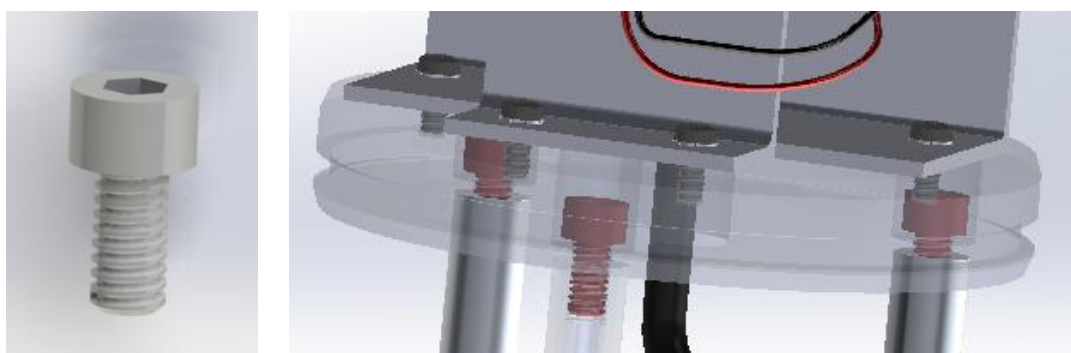


Figura 5.62. Componente 1000357 y su situación (Fuente: propia)

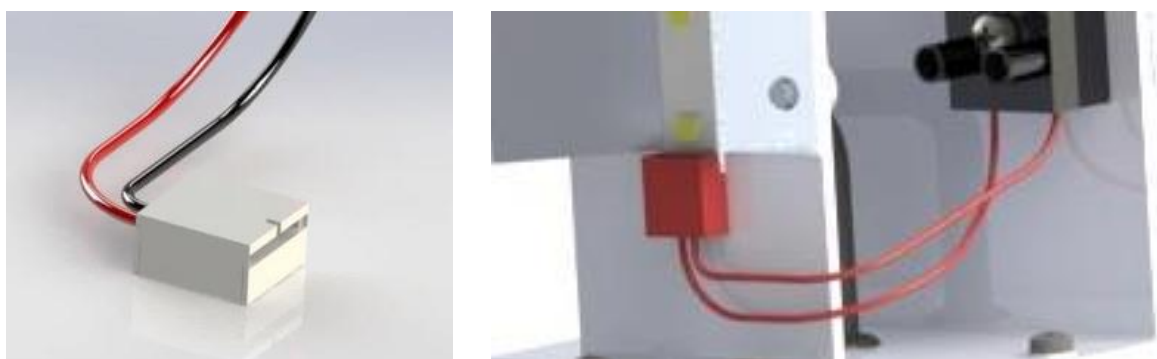


Figura 5.63. Componente 28000994 y su situación (Fuente: propia)



Figura 5.64. Componente JT06.09.003-D91S3 y su situación (Fuente: propia)

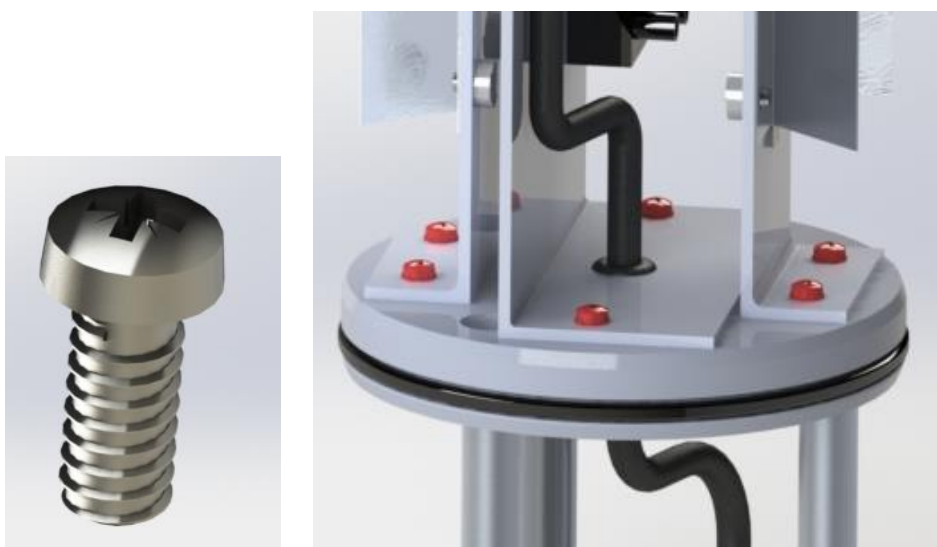


Figura 5.65. Componente M3x8/D7985-A2 y su situación (Fuente: propia)

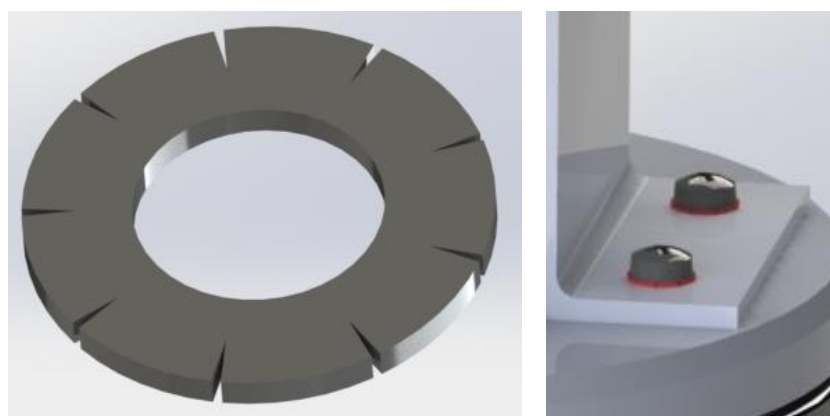


Figura 5.66. Componente M3/BN781 y su situación (Fuente: propia)

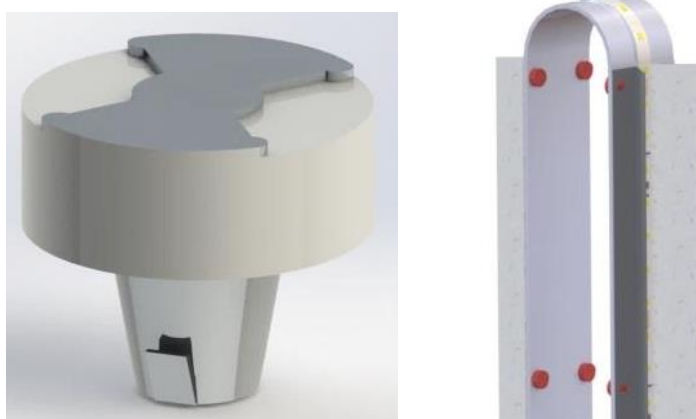


Figura 5.67. Componente 28.901.U164 y su situación (Fuente: propia)

TABLA 5.29: Componentes conjunto soporte driver

Denominación	Descripción	Función	Marca	Ud.
APV-12-24	LED Driver 24V 12W	Suministra energía a la fuente de luz	19	1
48.281.7200	Conector macho	Conexión driver	20	2
48.281.8200	Conector hembra	Conexión driver	21	2
OMYP2/1.00-C	Cable 18 AWG con manguera 2x1 azul y marrón	Conexión regleta de conexión-driver	22	1
KTCC-6	Abrazadera de acero Ø6	Sujeción cable 18 AWG	23	1
KTCC-3	Abrazadera de acero Ø3	Sujeción cables driver	24	1
M3x16/D7985-A2	Tornillo DIN 7985 M3 L16 Acero A2	Sujeción conector hembra	25	2
FIX-GR-58	Pasacables de goma Ø6	Evitar roce del cable	26	1
M3x8/D7985-A2	Tornillo DIN 7985 M3 L8 Acero A2	Sujeción driver y abrazaderas	15	4
M3/BN781	Arandela DIN 6798A dentada M3 Acero	Asegurar la unión tornillo-tuerca	16	6
M3/BN124	Tuerca DIN 439B de acero M3 cuello corto	Fijación de los tornillos	9	6

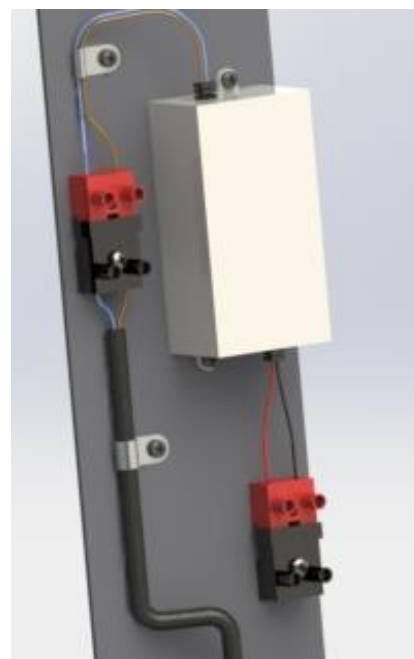
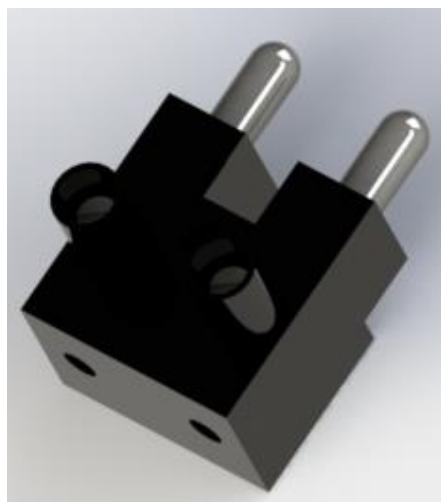


Figura 5.68. Componente 48.281.7200 y su situación (Fuente: propia)

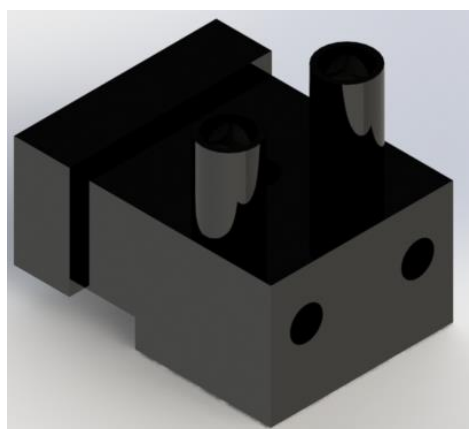


Figura 5.69. Componente 48.281.8200 y su situación (Fuente: propia)

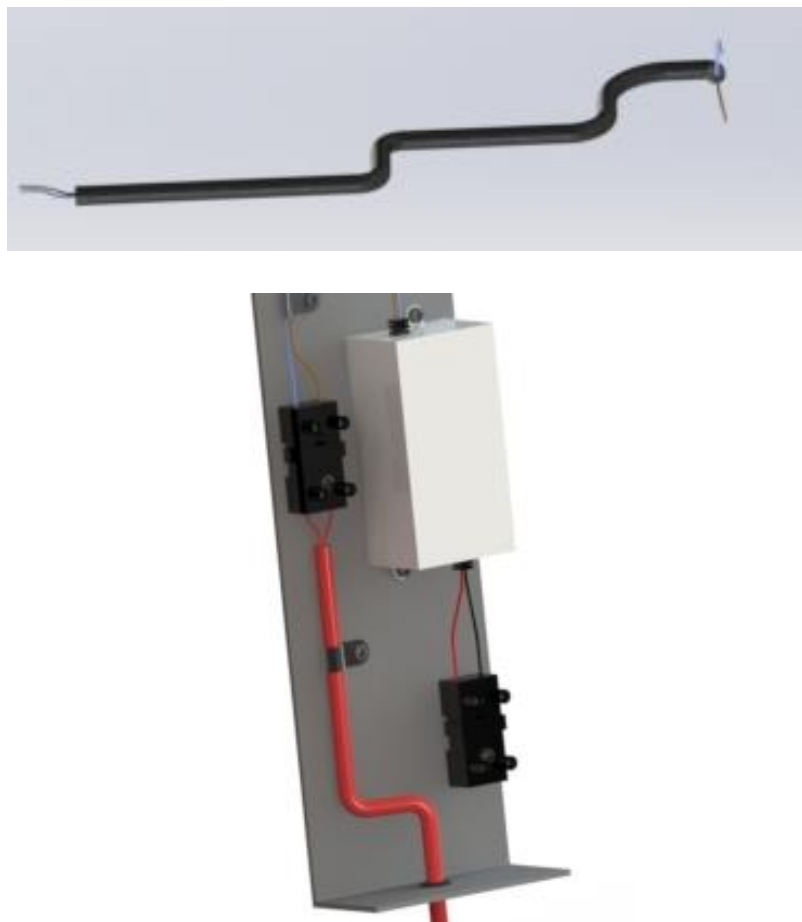


Figura 5.70. Componente OMYP2/1.00-C y su situación (Fuente: propia)



Figura 5.71. Componente KTCC-6 y su situación (Fuente: propia)

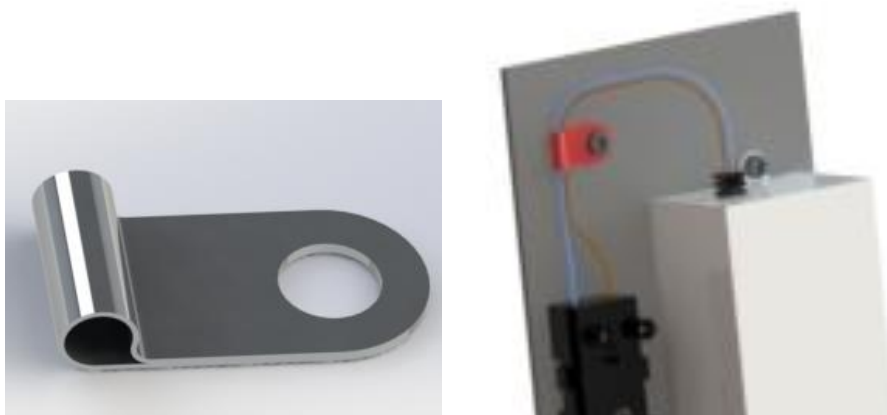


Figura 5.72. Componente KTCC-3 y su situación (Fuente: propia)

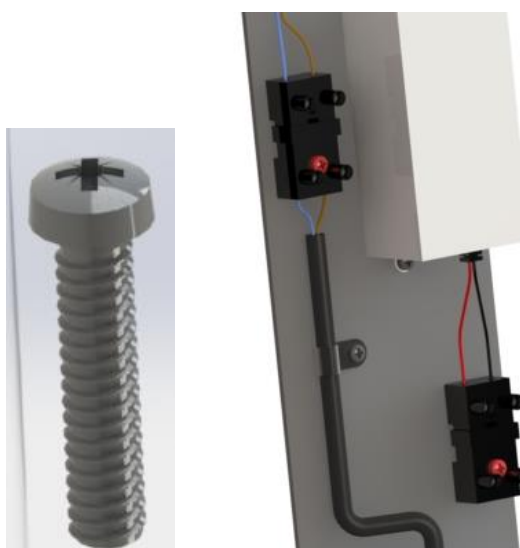


Figura 5.73. Componente M3x16/D7985-A2 y su situación (Fuente: propia)

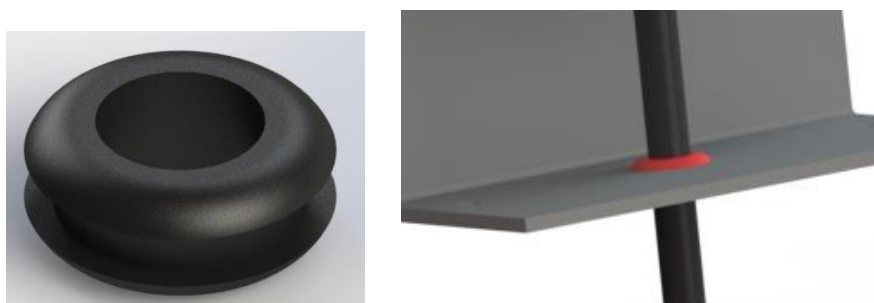


Figura 5.74. Componente FIX-GR-58 y su situación (Fuente: propia)

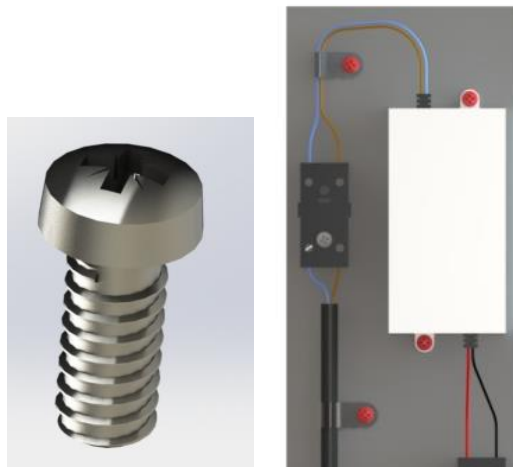


Figura 5.75. Componente M3x8/D7985-A2 y su situación (Fuente: propia)

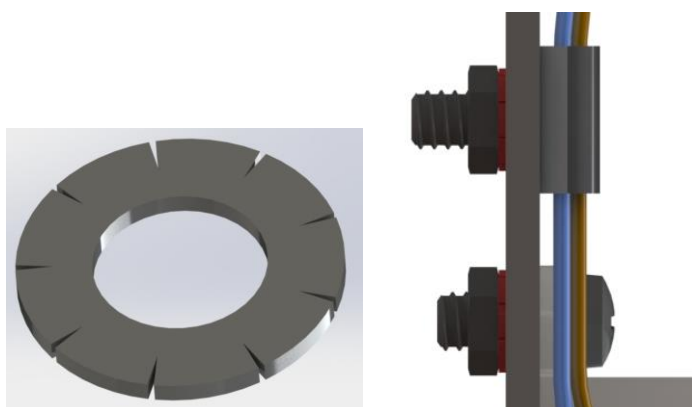


Figura 5.76. Componente M3/BN781 y su situación (Fuente: propia)

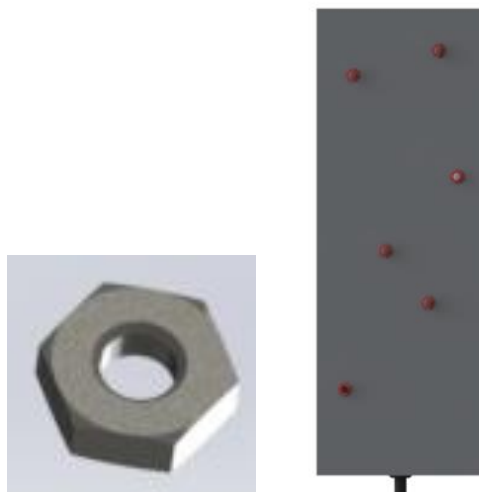


Figura 5.77. Componente M3/BN124 y su situación (Fuente: propia)

5.4.2. Subconjunto 4: base

TABLA 5.30: Componentes conjunto base

Denominación	Descripción	Función	Marca	Ud.
46.413.1214	Regleta de conexión de PC con toma a tierra	Conexión de alimentación y toma a tierra	29	1
M3.2/AD 43 ABS/BN3328	Remache de aluminio 5052 con Ø3.2	Fijación de la toma a tierra	30	1
1.609.1200.30	Prensaestopas de latón niquelado M12	Proporciona estanqueidad al pasar los cables	31	1
JT06.09.003-D91S3	Junta tórica silicona, Di91 S3	Estanqueidad de la luminaria	14	1
1235524	Tornillo DIN 913 Allen M3 L6	Unión roscada entre embellecedor y pieza base	2	1



Figura 5.78. Componente 46.413.1214 y su situación (Fuente: propia)



Figura 5.79. Componente M3.2/AD 43 ABS/BN3328 y su situación (Fuente: propia)



Figura 5.80. Componente 1.609.1200.30 y su situación (Fuente: propia)

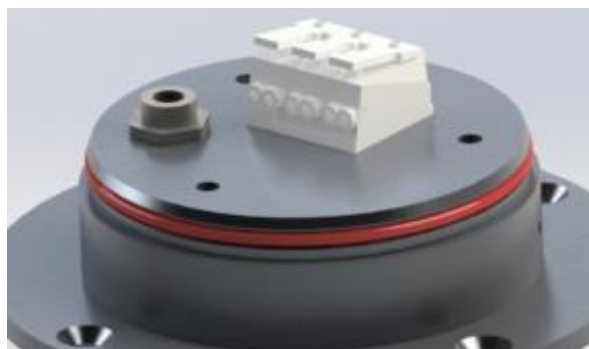


Figura 5.81. Componente JT06.09.003-D91S3 y su situación (Fuente: propia)

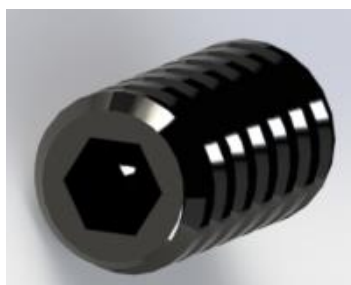


Figura 5.82. Componente 1025295 y su situación (Fuente: propia)

5.4.3. Subconjunto 5: anclaje

TABLA 5.31: Componentes conjunto anclaje

Denominación	Descripción	Función	Marca	Ud.
145 5447	Tuerca remachable M6 Ø9 L 18 acero A4	Proporcionar longitud de rosca suficiente para fijar la luminaria	29	4



Figura 5.83. Componente 145 5447 y su situación (Fuente: propia)

5.4.4. Uniones entre subconjuntos

TABLA 5.32: Otros componentes

Denominación	Descripción	Función	Marca	Ud.
1404857	Arandela DIN 125A de Poliamida MX	Proporciona estanqueidad	1	3
1235524	Tornillo DIN 913 M3 L6 acero A2	Fijación de conjuntos carcasa y base	2	1
M5X10/D912-A2	Tornillo DIN 912 M5x0.5 L10 acero A2	Fijación de conjuntos base y soporte	3	3
90403006	Taco metálico de encastre L30 para M6 acero A4	Taco para hormigón no fisurado	36	4
1413287	Tornillo DIN 965A M6 L35 acero A2	Tornillo para fijación de la luminaria a los tacos	37	4
1075705	Tornillo DIN 965A M6 L20 acero A2	Tornillo para fijación luminaria al conjunto anclaje	38	4

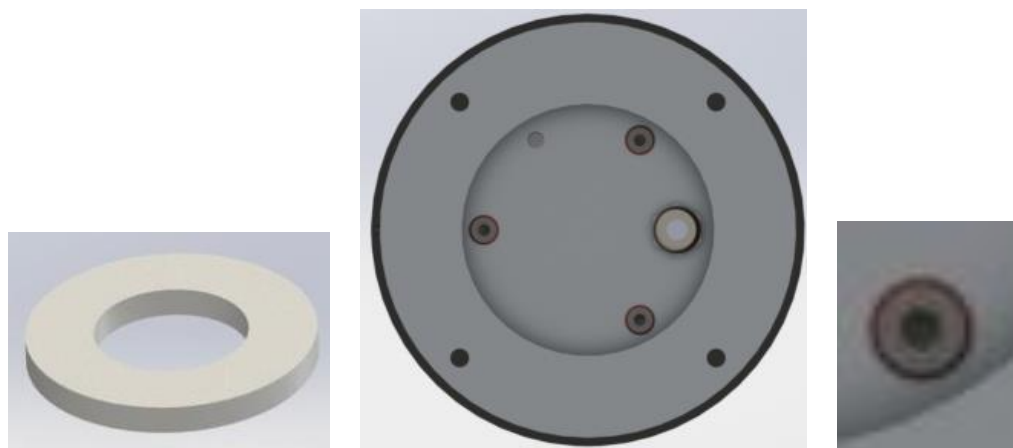


Figura 5.84. Componente 1404857 y su situación (Fuente: propia)



Figura 5.85. Componente 1235524 y su situación (Fuente: propia)

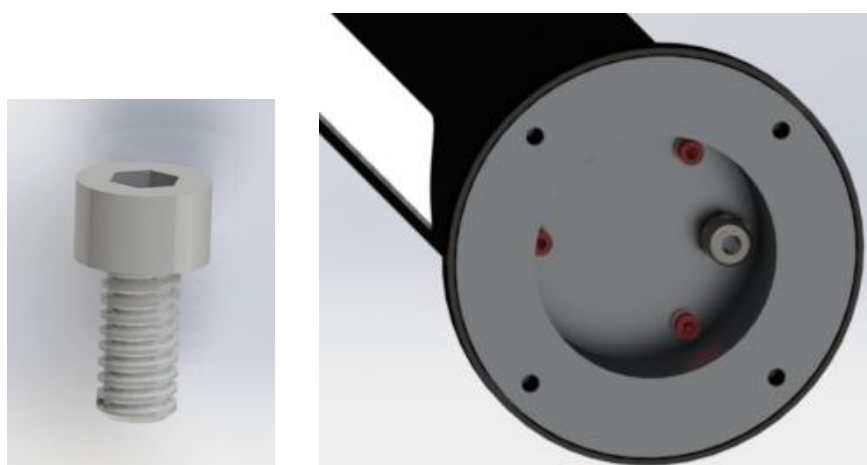


Figura 5.86. Componente 1000357 y su situación (Fuente: propia)

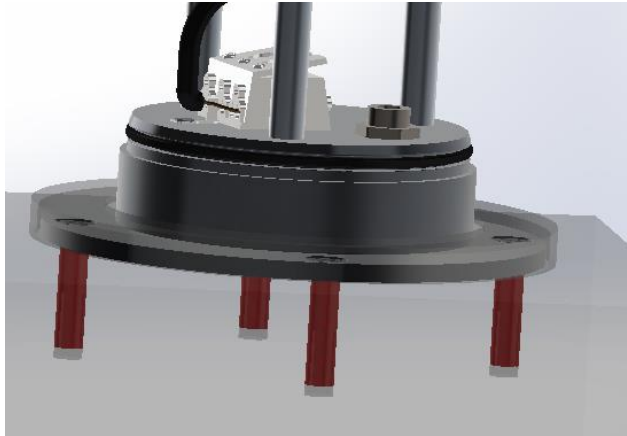


Figura 5.87. Componente 90403006 y su situación (Fuente: propia)

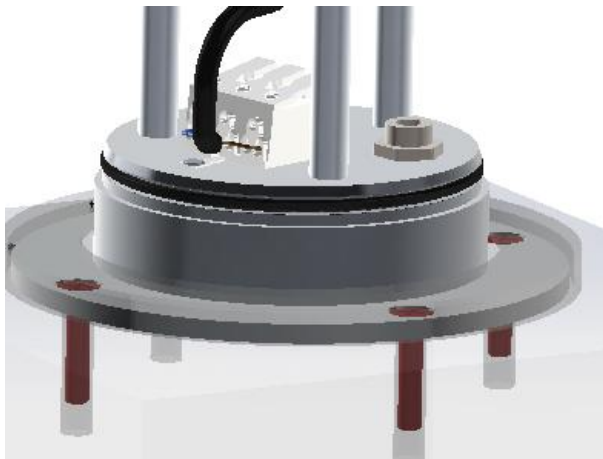


Figura 5.88. Componente 1413287 y su situación (Fuente: propia)



Figura 5.89. Componente 1075705 y su situación (Fuente: propia)

5.5. Puntos críticos luminaria

Existen varios conceptos clave en cuanto al diseño de luminarias que influyen drásticamente en su rendimiento. El primero, y más importante, es la gestión térmica de la fuente de luz. Al ser una luminaria de uso exterior también es importante proporcionar un grado de protección frente a los agentes atmosféricos (grado IP) además de ofrecer la resistencia necesaria frente a las posibles fuerzas que puedan producirse.

5.5.1. Gestión térmica

Anteriormente se ha visto cómo la temperatura influye de manera drástica en la vida útil de la luminaria y en la calidad de la luz proporcionada. En Vecxa se diseña partiendo de una temperatura ambiente de unos 40 °C, el proceso de disipación se puede realizar mediante los métodos de conducción, convección y radiación, normalmente se realiza mediante conducción y convección natural ya que la convección forzada utiliza ventiladores que reducen la vida de los productos.

Hasta ahora no se ha tenido en cuenta el método de radiación ya que los productos del portfolio son para uso interior, de cara a la simulación de este producto tampoco se tendrá en cuenta ya que es tan solo una aproximación pero al ser un producto destinado a ambientes exteriores, debería considerarse dentro de la simulación realizada para obtener la temperatura media de la cámara estanca. Otros parámetros como el área de la superficie de disipación, una geometría favorable de la pieza, la rugosidad y las características del fluido que la rodean, deberían ser controlados.

Para saber si existe una superficie de disipación suficiente se calcula analíticamente, mediante los datos facilitados por el fabricante, la superficie de disipación necesaria y se compara con la superficie existente. Posteriormente se realizarán dichas simulaciones ya que estas aportan otros factores no tenidos en cuenta.

5.5.1.1. Cálculo analítico

Para el estudio analítico se utilizan los valores del fabricante (Referencia A9.25), son datos sobre la resistencia térmica necesaria entre el disipador de calor y el ambiente además de la superficie de disipación necesaria por cada 10 cm de tira de led, tabla 5.33.

TABLA 5.33: Datos térmicos del fabricante, valores naranjas y azules para tira de 1200 y 1800 lm/W respectivamente

T _{ambiente} (°C)	T _{trabajo} (°C)	R _{disipador-amb} (K/W)	A (cm ²)
25	65	-	-
35	65	18.3	-
45	65	17.8 / 11.2	37.5 / 59.5
50	65	12.6 / 7.7	53 / 87.1

El elemento disipador empleado es la pieza soporte tira de led. En las tablas 5.34 y 5.35 se muestran los resultados obtenidos según el siguiente procedimiento de cálculo.

-Paso 1: Superficie de disipación necesaria

El fabricante aconseja utilizar una superficie de 37.5 cm² por cada 10 cm para la tira de 1200 lm/W. Esta tira tiene una longitud de 90 cm por lo que el área necesaria es:

$$A_{\text{necesaria}} = 37.5 \frac{\text{cm}^2}{10 \text{ cm}} \cdot 90 \text{ cm} = 337.5 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ec. 5.37})$$

-Paso 2: Superficie de disipación real

Para el cálculo de área útil se utiliza cada una de las caras de la pieza disipadora (soporte tira de led) exceptuando las caras en contacto con la pieza unión por lo que el área para el modelo de 600 es de 789.5 cm².

La tira de led está en contacto con esta superficie por lo que no podemos considerar el área de contacto como área disipadora por lo que se resta el área de la unión obteniendo una superficie real disipadora de 717.5 cm².

-Paso 3: Ratio de disipación

Este ratio sirve para ver la proporción existente entre áreas, si es mayor a uno se puede determinar la gestión térmica como válida además de poder valorar cómo tan bien se disipa.

$$R = \frac{A_{\text{real}}}{A_{\text{necesaria}}} = \frac{717.5}{337.5} = 2.1 \quad (\text{Ec. 5.38})$$

TABLA 5.34: Cálculos analíticos de disipación para temperatura ambiente de 45 °C

	MODELO 600 1200 lm/W	MODELO 400 1800 lm/W
A unitaria necesaria (cm ² /0.1 m)	37.5	859.5
Longitud tira led (cm)	90	50
A disipación necesaria (cm ²)	337.5	297.5
A útil pieza disipadora (cm ²)	789.5	43550
A tira de led (cm ²)	72	40
A de disipación real (cm ²)	717.5	392.3
Ratio de disipación	2.1	1.2

TABLA 5.35: Cálculos analíticos de disipación para temperatura ambiente de 50 °C

	MODELO 600 1200 lm/W	MODELO 400 1800 lm/W
A disipación unitaria (cm ² /0.1 m)	53	87.1
Longitud tira led (cm)	90	50
A disipación necesaria (cm ²)	477	435.5
A útil pieza disipadora (cm ²)	789.5	43550
A tira de led (cm ²)	72	40
A de disipación real (cm ²)	717.5	392.3
Ratio de disipación	1.5	0.9

Haciendo una valoración de los resultados se ve que para unas condiciones de funcionamiento entorno a los 45°C (tabla 5.34) es suficiente el área disponible para la disipación. Si se tiene en cuenta que se trata de una pieza con un acabado anodizado se sabe que la gestión térmica se verá mejorada notablemente ya que las rugosidades hacen aumentar el área útil de disipación.

En el caso crítico de funcionamiento (tabla 5.35) se puede encontrar alguna dificultad en el modelo 400. Para solventar este problema se tiene en cuenta un factor no considerado anteriormente, los reflectores de aluminio mantienen un contacto directo con la pieza soporte tira de led por lo que la disipación de calor no solo se hace a través de la pieza considerada sino que también lo hará mediante los cuatro reflectores, aumentando considerablemente su área de disipación. Se concluye que es necesario estudiar el entorno completo para ver las interacciones y la influencia de todos los elementos que gestionan el calor.

A pesar de esto se mantiene como hipótesis que no habrá problema en la disipación calorífica teniendo en cuenta que la superficie real es mucho mayor a la utilizada en los cálculos y el anodizado ayudará notablemente, mediante las simulaciones realizadas en el siguiente punto se comprobará si esto cierto.

5.5.1.2. Simulaciones térmicas

En primer lugar se estudia la pieza soporte tira de led como elemento único de disipación, posteriormente se incorpora el uso de reflectores y otras piezas que mejorarán la gestión térmica de la luminaria.

El problema de la gestión térmica en este producto se encuentra en la estanqueidad existente en la cámara dónde está el led, la convección del aire es mínima y el difusor de policarbonato tampoco favorece. Al ser un producto de uso exterior la radiación solar puede producir un aumento de la temperatura interior de la cámara estanca por lo que una simulación en régimen transitorio nos mostrará si es posible extraer el calor con las condiciones dadas.

El planteamiento del problema se muestra en la figura 5.90, se tiene una temperatura ambiente de 40°C (temperatura ambiente máxima de diseño para el funcionamiento), una temperatura de cámara estanca inicial de 25°C y la temperatura de la superficie donde se encuentra el led es de 65°C.

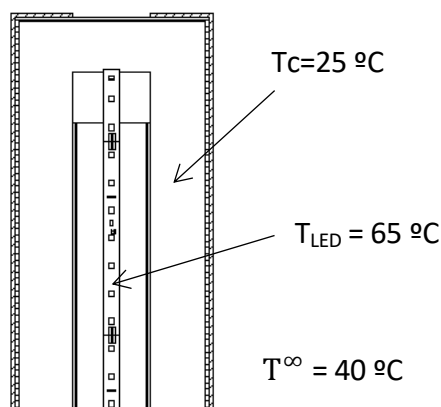


Figura 5.90. Planteamiento simulación para temperatura de cámara (Fuente: propia)

Para su resolución se utiliza el complemento Flow Simulation de Solidworks y se obtienen los siguientes resultados. La figura 5.91 muestra la distribución de temperaturas dónde la temperatura máxima es de 65°C cosa que indica que no se produce un sobrecalentamiento en la cámara estanca.

También se ve como la temperatura va disminuyendo a medida que nos acercamos al exterior, cosa que indica como realmente si se está extrayendo el calor del interior de la luminaria.

La figura 5.92 muestra la distribución de temperaturas anterior de la zona más afectada además de los vectores indicadores de la dirección del flujo, de esta manera se corrobora cómo se está extrayendo el calor a través de las paredes del difusor.

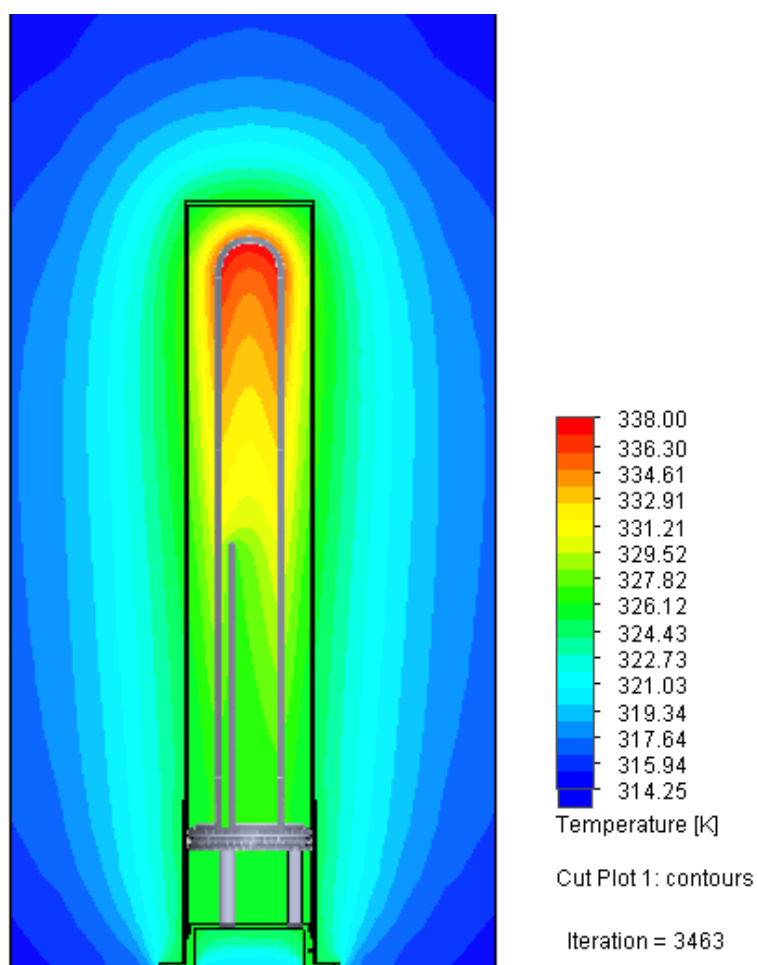


Figura 5.91. Distribución de temperaturas conjunto luminaria (Fuente: propia)

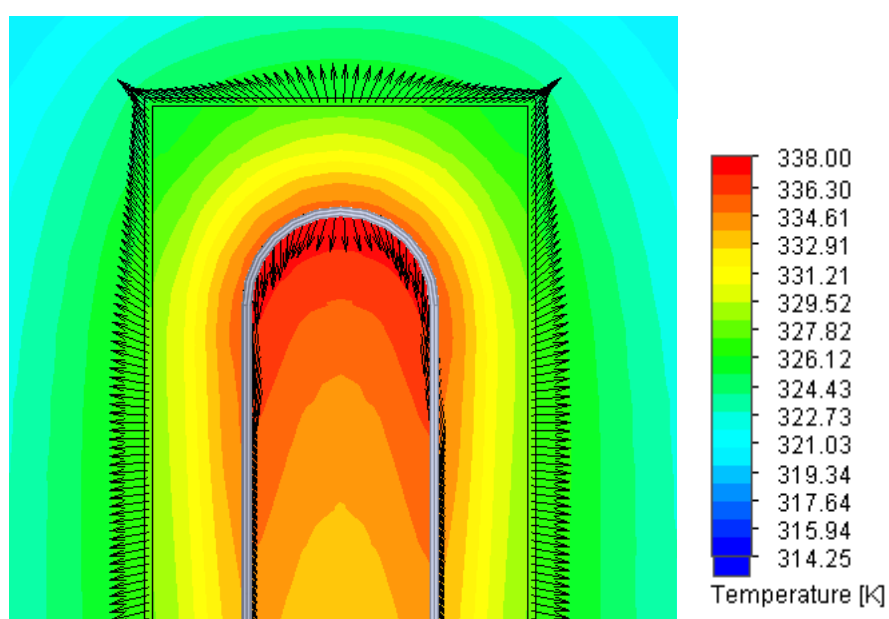


Figura 5.92. Dirección flujo calorífico y detalle de temperaturas (Fuente: propia)

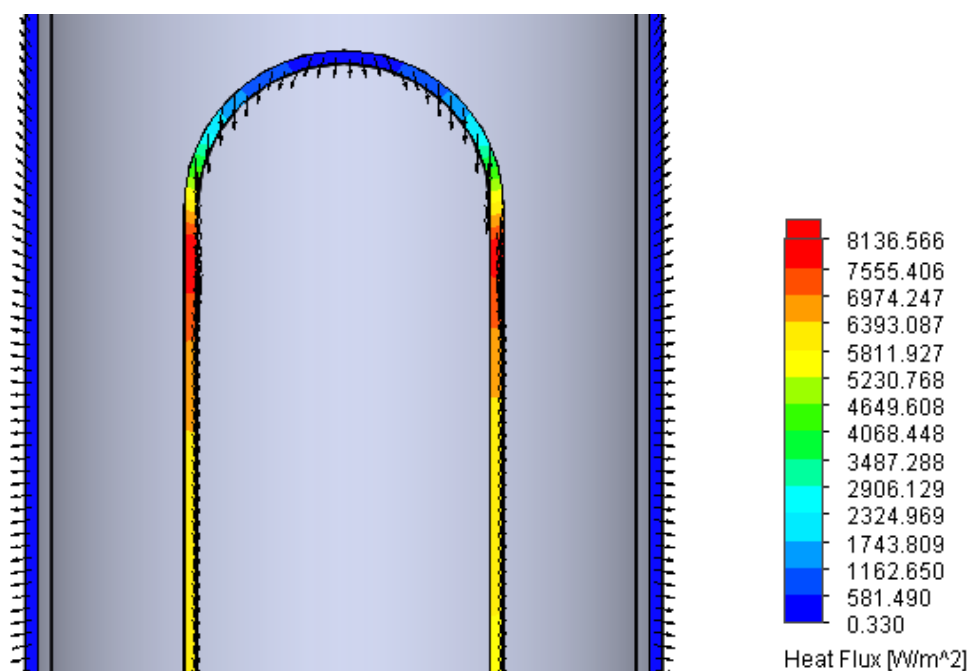


Figura 5.93. Distribución de flujo de calor y dirección (Fuente: propia)

El estudio se ha realizado en todo el conjunto de la luminaria pero estas imágenes corresponden al plano más crítico correspondiente a la vista de alzado del conjunto además de solo mostrar las zonas de especial interés. La figura 5.93 muestra las zonas con mayor flujo de calor.

Con la realización de esta simulación se obtiene una temperatura de cámara media aproximada de 50 °C, parámetro necesario para continuar con las simulaciones de los elementos de disipación. Dichas simulaciones se dividen en dos partes, en primer lugar se estudia la pieza soporte tira de led como único elemento de disipación y seguidamente se estudia la influencia de las otras piezas de aluminio.

Las dos simulaciones siguen las mismas condiciones, las piezas de estudio están sometidas a conducción y convección, la temperatura inicial de la superficie del led se encuentra a 65°C, la convección es natural con un coeficiente de $10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y una temperatura del aire de convección de 50 °C, temperatura media obtenida en la simulación anterior.

El régimen es de tipo estacionario para el instante en que la tira de led alcanza su temperatura de funcionamiento de 65 °C, además se comprara mediante un análisis transitorio para ver si se produce un aumento de la temperatura superficial.

-Disipador: soporte tira de led

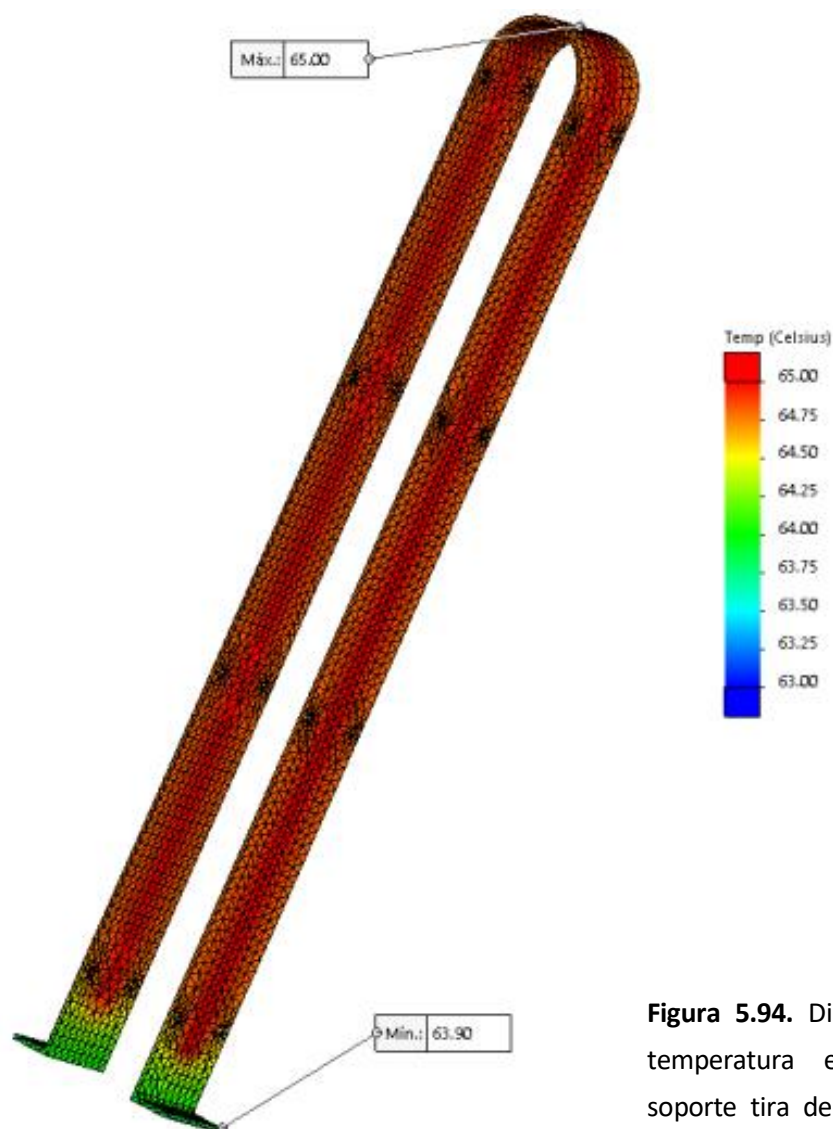


Figura 5.94. Distribución de temperatura en la pieza soporte tira de led (Fuente: propia)

En la figura anterior se ve la distribución de temperaturas dónde la máxima es de 65°C y la mínima de 63.9 °C. También se puede apreciar en la imagen 5.95 con una escala más ajustada.

La pieza soporte tira de led extrae el calor generando un flujo apreciable en la figura 5.96, además las imágenes 5.97 y 5.98 muestran su dirección. El punto con más flujo de calor se sitúa cerca de los agujeros inferiores del soporte, esto se debe a que es en el pliegue de las pestañas dobladas donde hay material a una temperatura inferior debido a su lejanía con el foco de calor emisor.

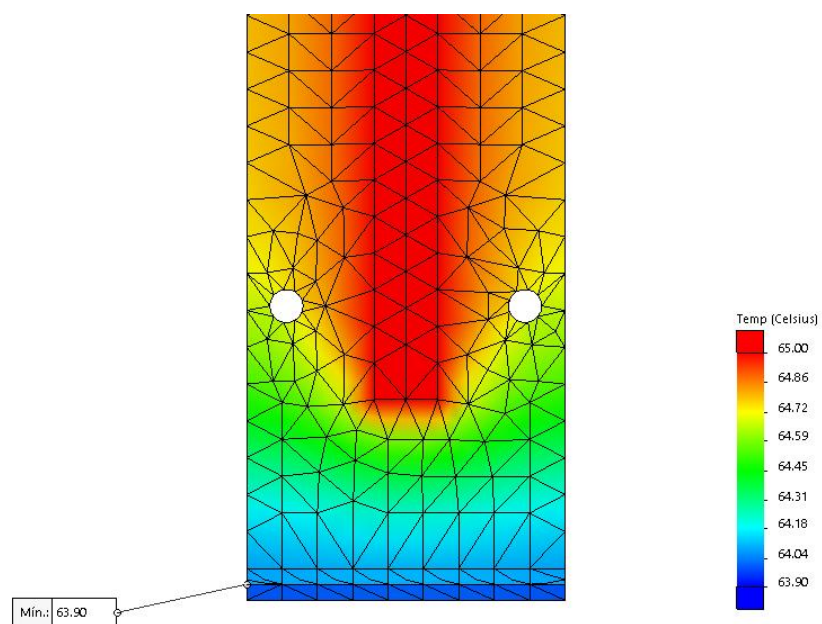


Figura 5.95. Distribución de temperatura (Fuente: propia)

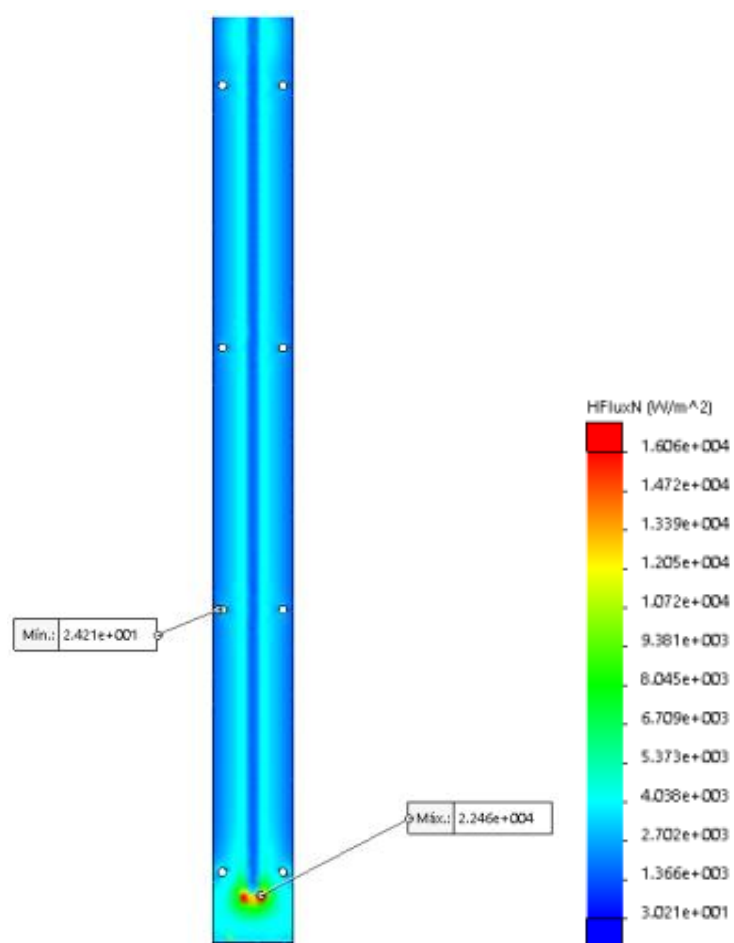


Figura 5.96. Distribución de flujo de calor (Fuente: propia)

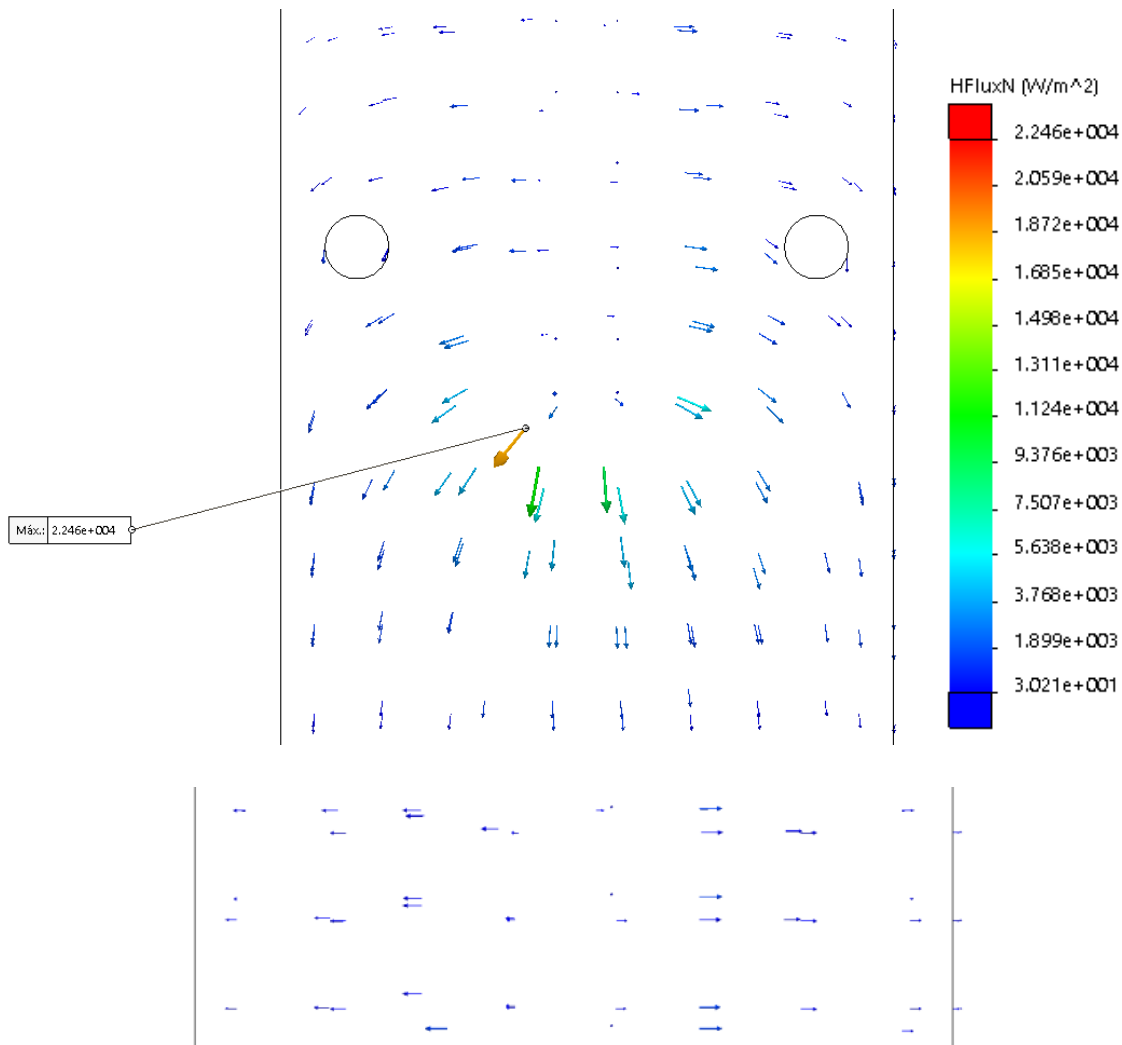


Figura 5.97. Dirección del flujo de calor (Fuente: propia)

Tiene sentido cómo en la zona media del soporte la dirección del flujo es horizontal buscando el recorrido más corto hacia una zona con menor temperatura. También tiene sentido como en la parte inferior comentada anteriormente, el flujo realice un cambio de dirección buscando un área mayor para refrigerarse, cumpliendo la lógica de la distribución de temperaturas de la imagen 5.95.

Se observa como aparece un punto máximo de flujo que debería aparecer en su simetría ya que es una pieza completamente simétrica, se puede achacar este error a la escala de los vectores o un fallo de la tarjeta gráfica.

Para saber si este estudio se ajusta a una situación real se mira el cociente de aspecto de la malla generada y se ve como todos los elementos mallados son aceptables y con un refinamiento muy bueno por el hecho de encontrarse dentro de la zona de colores azules.

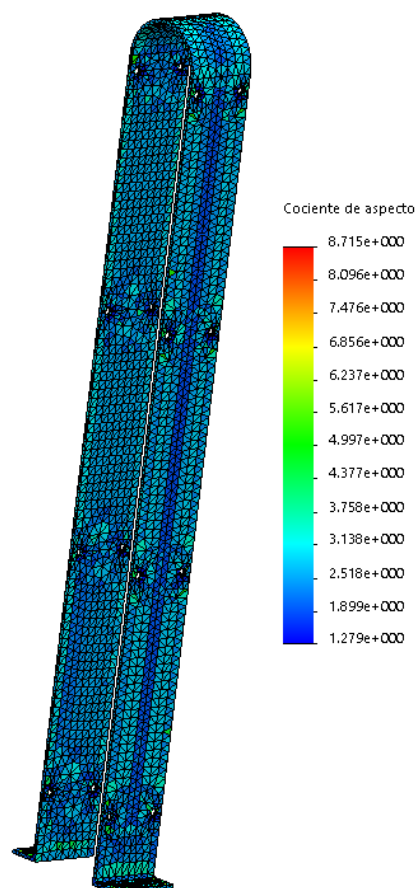


Figura 5.98. Coeficiente de aspecto de la malla (Fuente: propia)

El problema de la gestión térmica de la luminaria recae en el uso continuado que puede generar un sobrecalentamiento de los componentes y piezas, sobre todo cuando se trabaja a una temperatura ambiente de 40°. Es por ese motivo que se realiza la simulación en régimen transitorio para un tiempo de 20 minutos, tiempo en que una luminaria LED alcanza una temperatura estable.

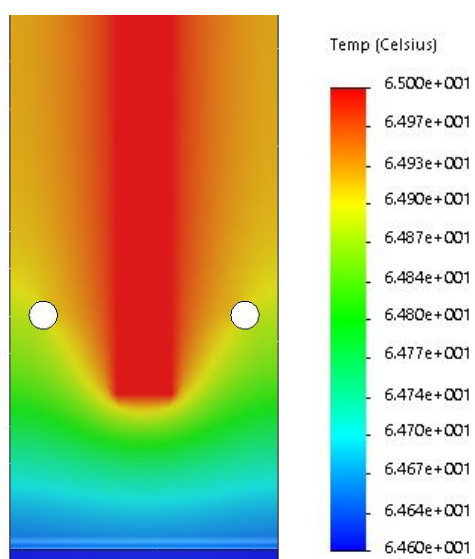


Figura 5.99. Simulación en régimen transitorio (Fuente: propia)

Esta simulación es muy útil ya que ahora si se puede asegurar que en estas condiciones no se producirá un sobrecalentamiento de la luminaria ya que la temperatura máxima sigue siendo de 65°C a pesar de que la temperatura mínima del conjunto aumenta 0.7 °C llegando hasta los 46.6 °C.

-Disipador: soporte tira de led, reflectores, soporte driver y pieza unión:

Ahora se verá de qué manera influyen los otros componentes que forman parte del conjunto soporte a la hora de disipar el calor, el procedimiento y las condiciones son exactamente las mismas a excepción de que se incrementa el área de disipación y solamente se estudia en régimen transitorio.

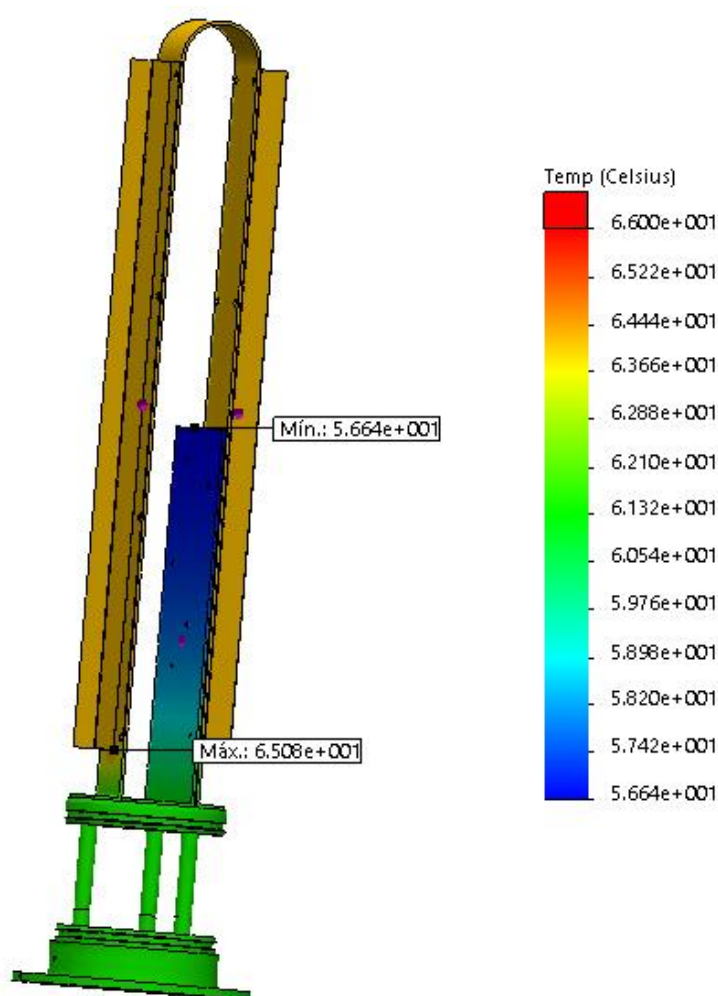


Figura 5.100. Distribución de temperaturas conjunto soporte (Fuente: propia)

Se puede ver como la temperatura máxima es de 65,08 °C situándose ligeramente por encima de los 65 en algunos puntos. Por otro lado la mínima es de 56.6 °C por lo que al contabilizar todo el área de disipación de las partes de aluminio se reduce la temperatura del conjunto en 8 °C.

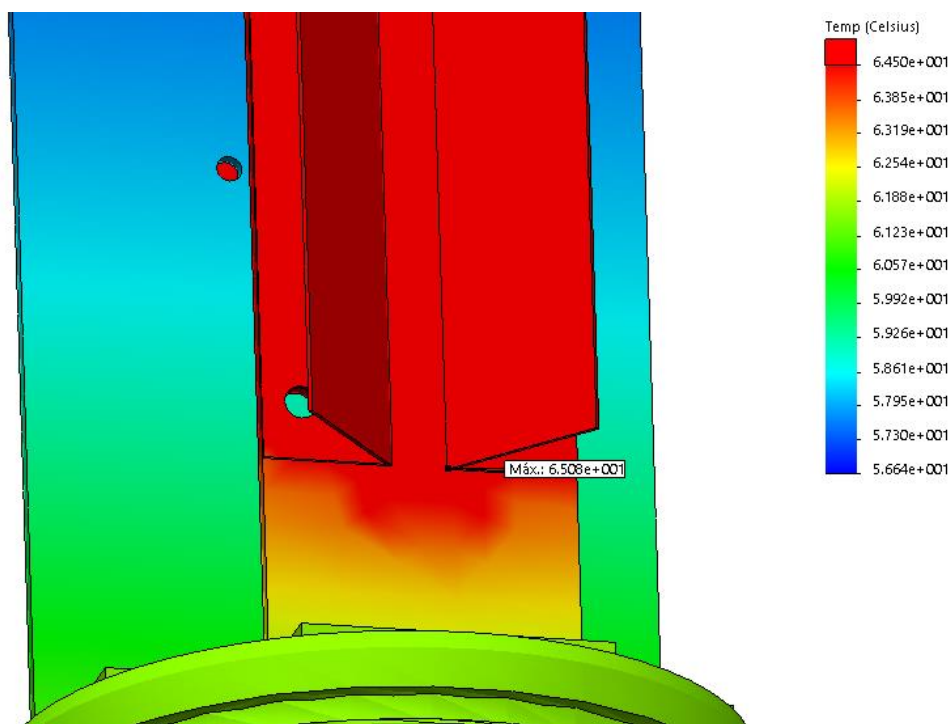


Figura 5.101. Punto de máxima temperatura (Fuente: propia)

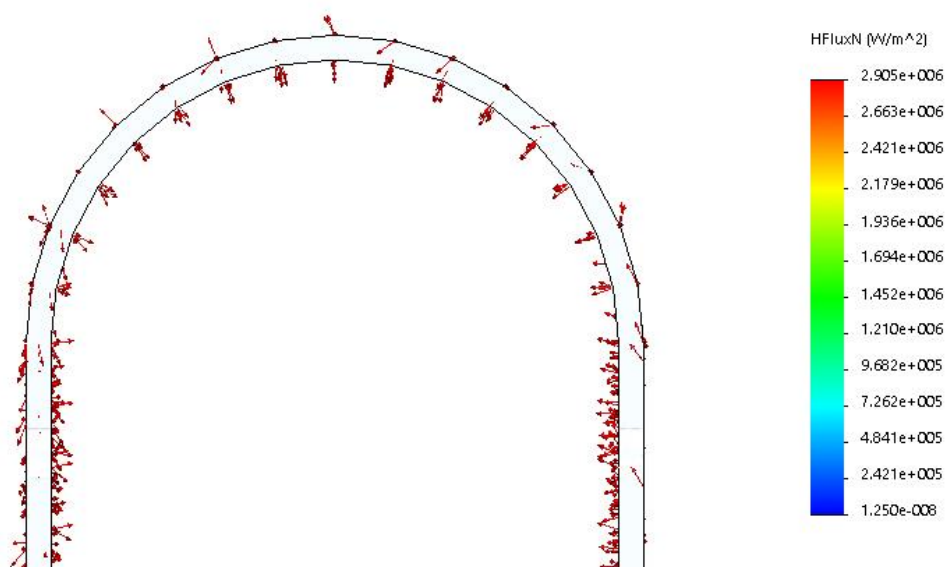


Figura 5.102. Flujo calorífico perpendicular a la superficie de contacto del led (Fuente: propia)

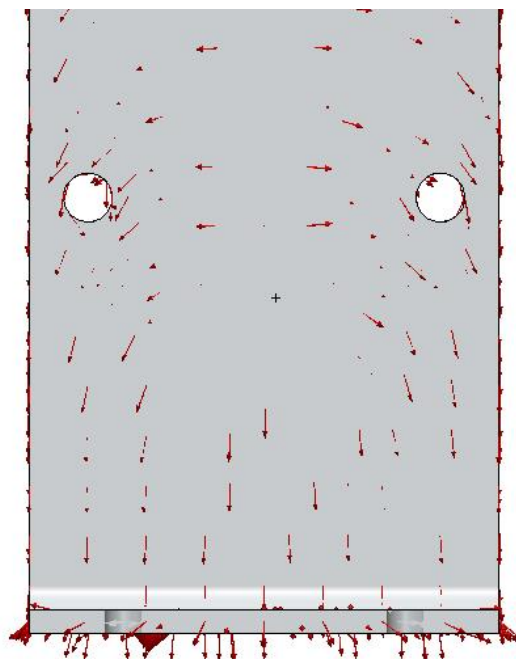


Figura 5.103. Dirección del flujo en la parte inferior de la pieza soporte tira de led (Fuente: propia)

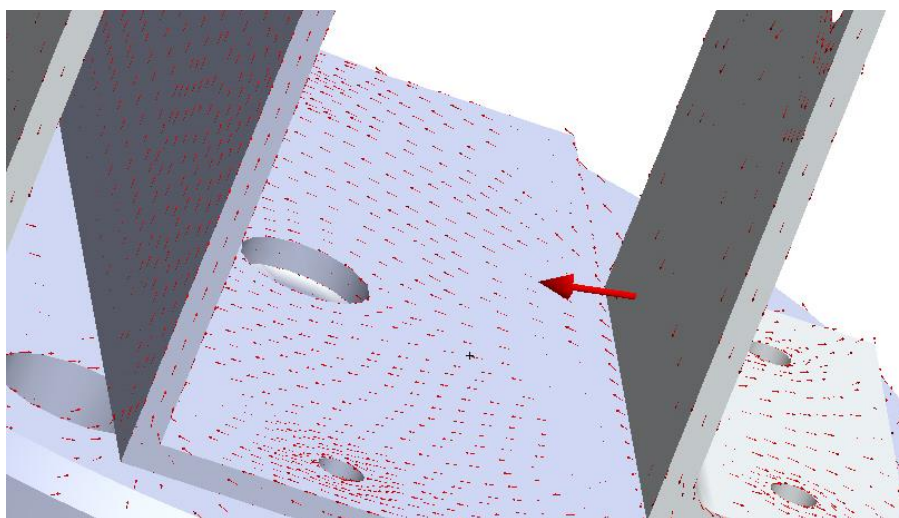


Figura 5.104. Punto de máximo flujo calorífico (Fuente: propia)

Relativo a las trayectorias seguidas por el flujo se ve un comportamiento parecido al de la simulación anterior. El flujo busca el camino más rápido para conseguir disiparse. El punto de máximo flujo se encuentra en la figura 5.104 dónde se ve como existe una dirección clara hacia la pieza soporte driver ya que ésta tiene una superficie más extensa con una temperatura inferior. Además se puede observar también en la figura 5.105.

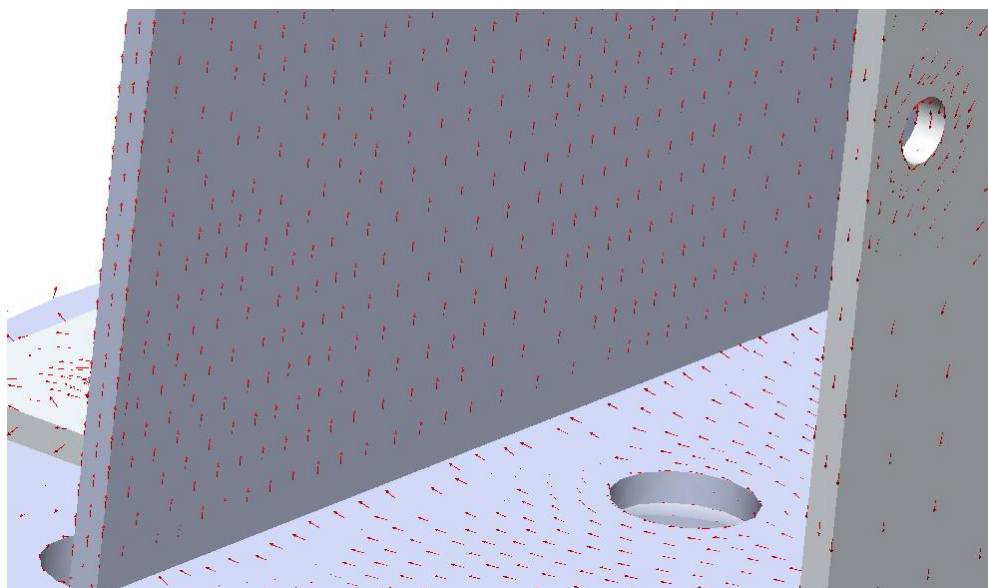


Figura 5.105. Trayectoria hacia la pieza soporte driver (Fuente: propia)

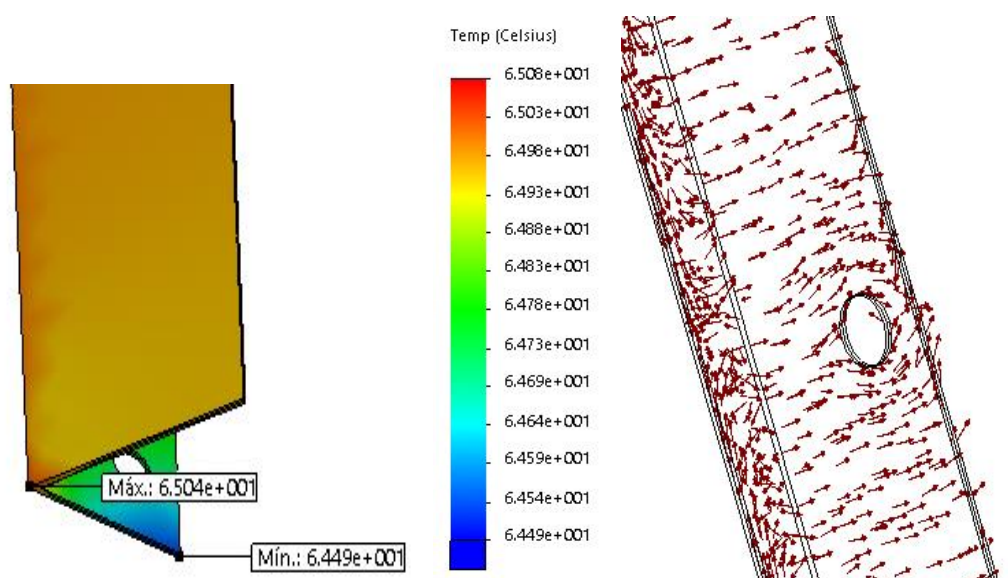


Figura 5.106. Distribución temperatura y trayectoria del flujo en el reflector (Fuente: propia)

Por último solo queda analizar la pieza reflector, la superficie con mayor temperatura es la del doblado por el hecho de estar en contacto con la fuente de calor. A medida que nos alejamos del pliegue disminuye la temperatura, sin embargo se puede ver como el gradiente de temperaturas es mínimo.

Los bordes de la cara en contacto con la pieza soporte tira de led tienden hacia un color más azulado, esto indica como es en esta superficie donde se conduce la calor hacia otras zonas con mayor área para disipar. Además este hecho viene justificado por la dirección de la trayectoria del flujo.

Para concluir con el apartado de gestión térmica se llega a la conclusión que el área de disipación de la luminaria es más que suficiente para disipar el calor generado. Además no hay que dejar de lado que los resultados obtenidos se realizaron para el caso más crítico dónde la temperatura ambiente es de 40°C.

Se podría pensar que el hecho de no incorporar el fenómeno de la radiación es un error pero el funcionamiento normal de la luminaria es nocturno por lo que las simulaciones realizadas se ajustan a la realidad y los resultados obtenidos son satisfactorios. Sin embargo es cierto que para poder asegurar al 100% una gestión correcta sería necesario realizar el ensayo de temperatura del prototipo.

5.5.2. Estanqueidad

Conseguir la estanqueidad necesaria es uno de los puntos clave a considerar dentro del diseño de una luminaria para uso exterior. Cuando se habla de estanqueidad se hace referencia tanto a la estanqueidad frente al agua como al polvo u otras partículas sólidas que puedan introducirse.

Para proporcionar estanqueidad normalmente se usan juntas situadas en las ranuras o el contorno de las piezas a las que se le quiere dar estanqueidad, estas juntas suelen ser de elastómeros capaces de adaptarse y ejercer presión en la cavidad dónde están instaladas, ocupando así todo el espacio y no dejando penetrar ningún cuerpo o fluido. En este caso, para dar estanqueidad se utilizan juntas tóricas que ejercen presión entre la ranura del soporte donde se sitúan y el difusor de PC, también responsable de formar una cámara estanca.

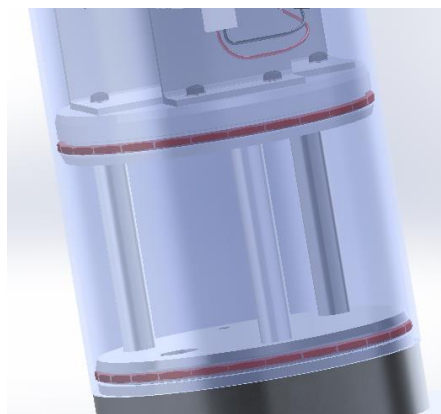


Figura 5.107. Juntas tóricas en modo contracción (Fuente: propia)

El efecto hermetizante de la junta tórica se basa en la deformación axial o radial de su sección o toro y el empleo de un ajuste por contracción, esta deformación se obtiene por un diseño adecuado del espacio de montaje, visto en el anexo A2. De esta manera lo que se consigue es que el agua no

penetre en la cámara donde se encuentran las conexiones y el led. En el anexo A3 están los cálculos de deformaciones según un modelo analítico y según una simulación aproximada de la contracción.

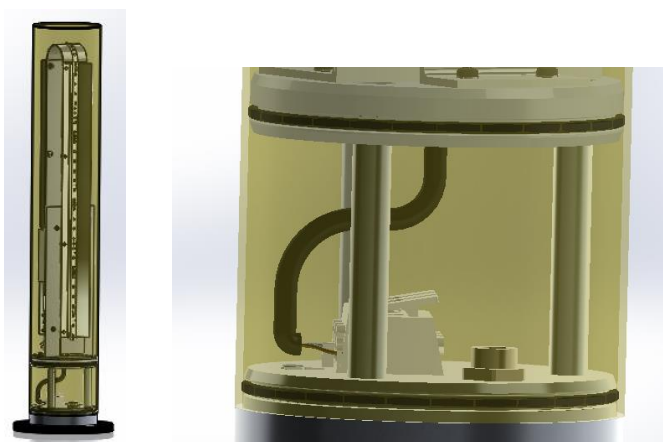


Figura 5.108. y 5.109. Cámara estanca señalada en amarillo y juntas tóricas (Fuente: propia)

Por otro lado la carcasa mantiene un ajuste con cierto apriete con el difusor, es posible que entre estas superficies penetre agua a través de los cortes longitudinales existentes. Por esta razón se dejan las holguras necesarias para que, en caso de penetración de agua, ésta tenga una salida y no quede estancada, véase la imagen 5.110.

Otro detalle en cuanto a diseño se ve en la figura 5.111 dónde el diámetro de la pieza base que sujeta el difusor es ligeramente inferior al de éste, por lo contrario sería una superficie donde el agua también podría quedar estancada si el diámetro de la pieza base fuera mayor.

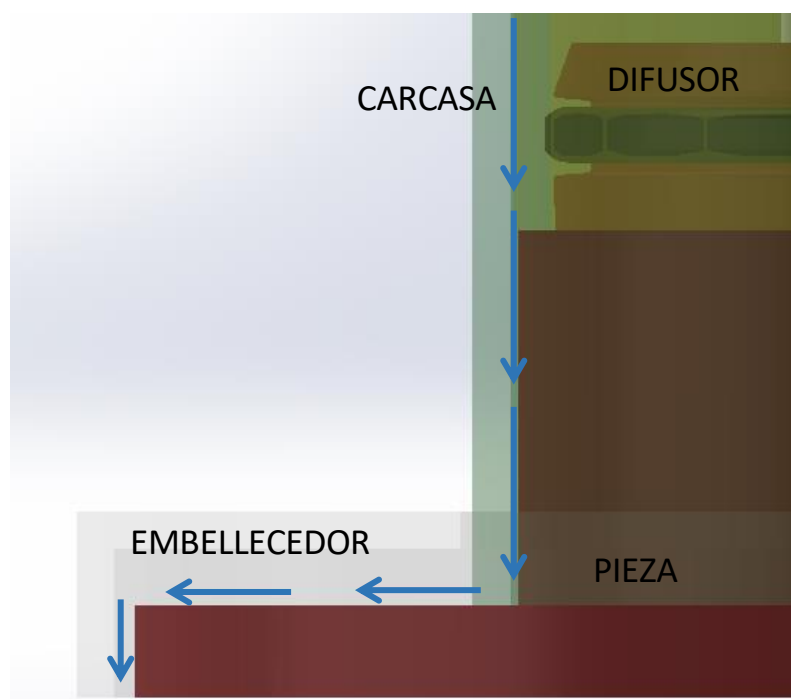


Figura 5.110. Evacuación del agua en caso de penetración a través de los cortes (Fuente: propia)

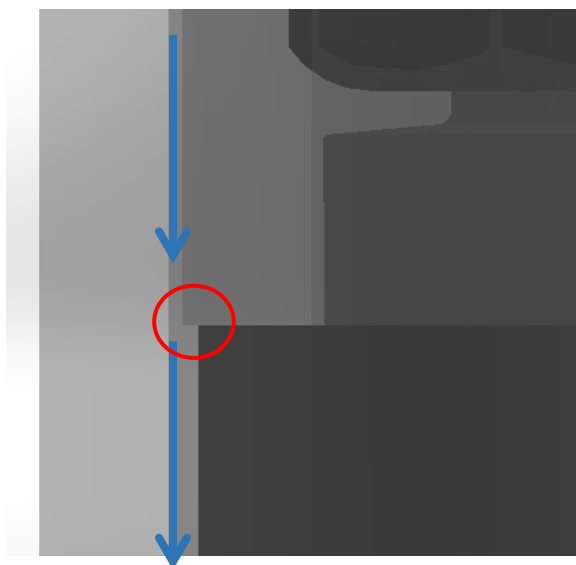


Figura 5.111. Dirección de la evacuación de agua (Fuente: propia)

Por último y no menos importante, el bolardo está conectado a la red, esto quiere decir que existe un orificio por el que habrá que pasar el cable de alimentación de manera que se convierte en un punto expuesto directamente al ambiente.

Para solucionar este problema se utiliza un prensaestopas, además existen otros orificios debido a requisitos de diseño por donde también puede entrar agua, en la figura 5.112 se ven los elementos empleados para conseguir una estanqueidad total.

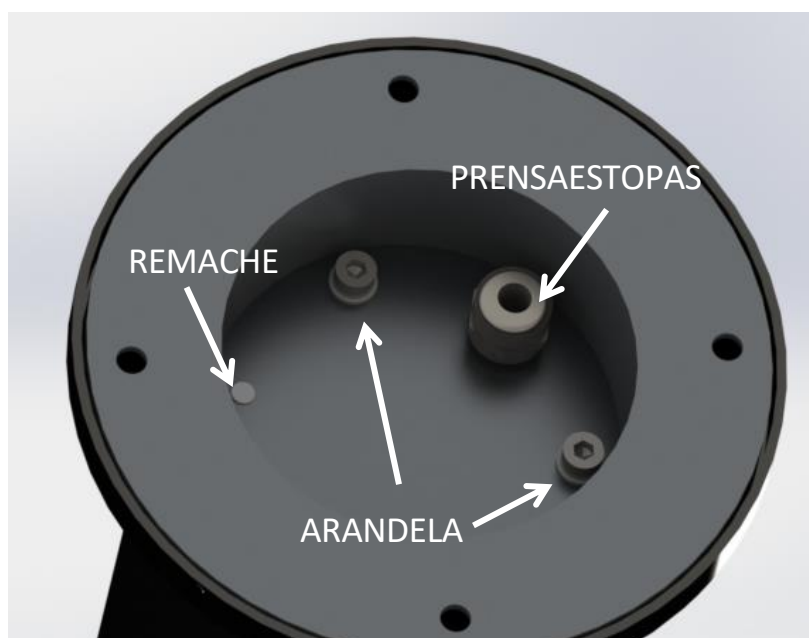


Figura 5.112. Elementos que proporcionan estanqueidad (Fuente: propia)

5.5.2.1. Ajustes entre componentes

Como en el caso de las juntas tóricas, el hecho de mantener un ajuste mediante presión ayuda al proceso de estanqueidad. Este es el motivo principal por el que se ha querido reducir al máximo la entrada de agua aun sabiendo que existe protección asegurada por la junta tórica, pero cualquier protección es poca.

En primer lugar al mantener un ajuste con cierto apriete entre la carcasa y el difusor se garantiza una resistencia frente a la entrada de agua además de que por motivos estéticos no es atractivo la visualización de espacios entre estos dos conjuntos. El concepto es el mismo para el embellecedor y la carcasa, el problema radica en que el rozamiento debe de ser mínimo para evitar daños en la pintura por lo que la opción de un ajuste con juego es la más acertada.

A continuación se explican los diferentes ajustes existentes según la norma ISO actual. Es importante señalar que no se sigue el criterio de sistemas de selección de ajuste de eje base o agujero base ya que no partimos del diseño de un ajuste determinado sino que, al utilizar perfiles y componentes estandarizados, se tienen en cuenta las tolerancias de fabricación de los perfiles, a partir de ahí se calcula la interferencia entre dichas piezas para posteriormente validar si el tipo de ajuste es el adecuado.

En el anexo A4 se ven las desviaciones y las interferencias máximas o mínimas de cada ajuste. En las imágenes adjuntas a continuación se citan dichos ajustes dónde el eje es de color rojizo y el agujero azulado.

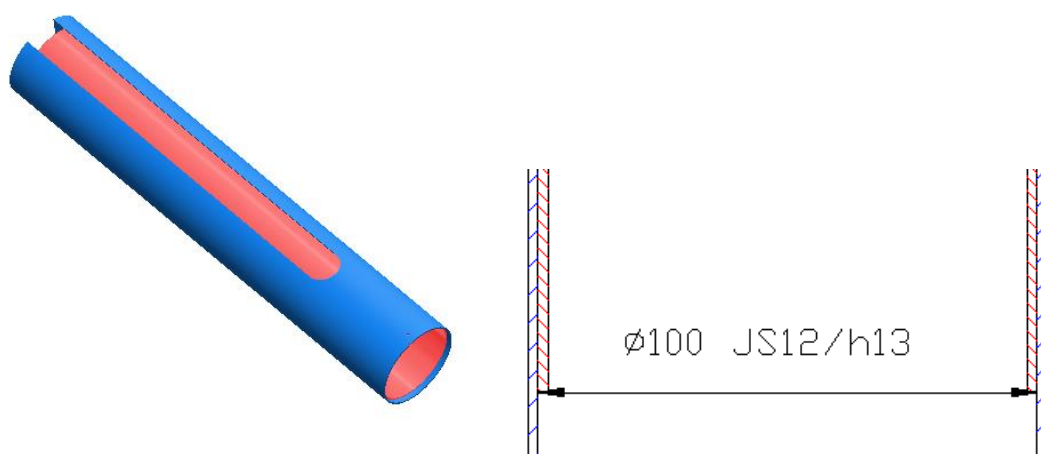


Figura 5.113. Ajuste indeterminado entre la carcasa y el difusor (Fuente: propia)

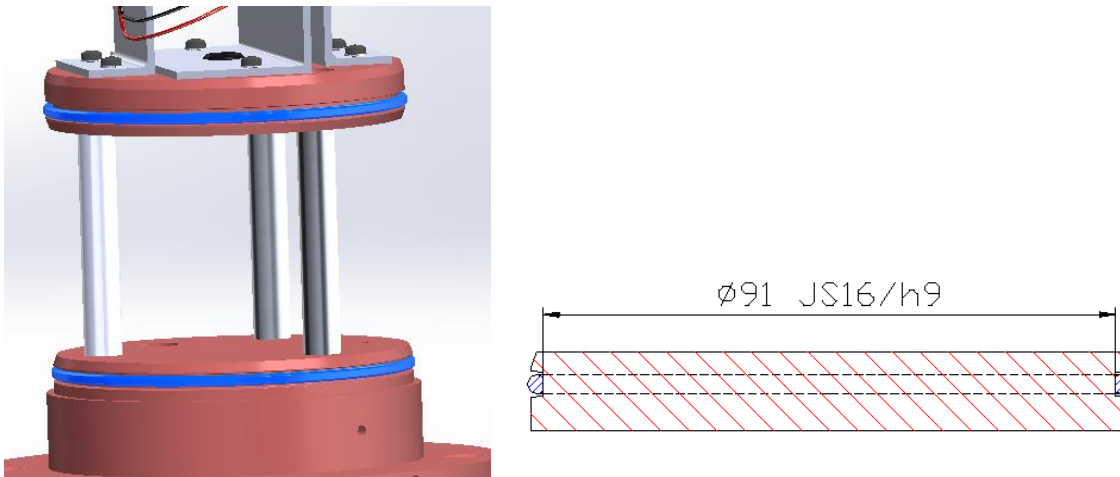


Figura 5.114. Ajuste indeterminado entre la junta tórica y su ranura de encaje (Fuente: propia)

5.5.3. Resistencia

El estudio de la resistencia se divide en dos partes, la primera corresponde al análisis de la fuerza provocada por el viento y la segunda a las posibles fuerzas que puedan tener lugar durante un uso normal de la luminaria.

5.5.3.1. Resistencia frente al viento

Se analiza el impacto que produce el viento a una velocidad de 150 km/h, prestando especial atención en la fijación de la luminaria ya que son los tornillos los encargados de proporcionar un agarre adecuado.

La velocidad utilizada es la mínima que se debe garantizar para alumbrado público (norma UNE-EN 60598-2.3 punto 3.6.3), no es el caso pero el entorno de instalación es prácticamente el mismo. Primero se resuelve el estudio de forma analítica y seguidamente se comprueba mediante simulación.

5.5.3.1.1 *Cálculo analítico*

Se explica el procedimiento aplicando un factor de seguridad comprendido en un rango de 1.5 a 2 para los tornillos de fijación con el objetivo de ver si son capaces de soportar los esfuerzos provocados. El planteamiento del problema se muestra en la figura 5.115, dónde una fuerza

equivalente a la velocidad del aire sigue la dirección x, dirección perpendicular a la sección más crítica (difusor), y existe un empotramiento en el suelo mediante tornillos.

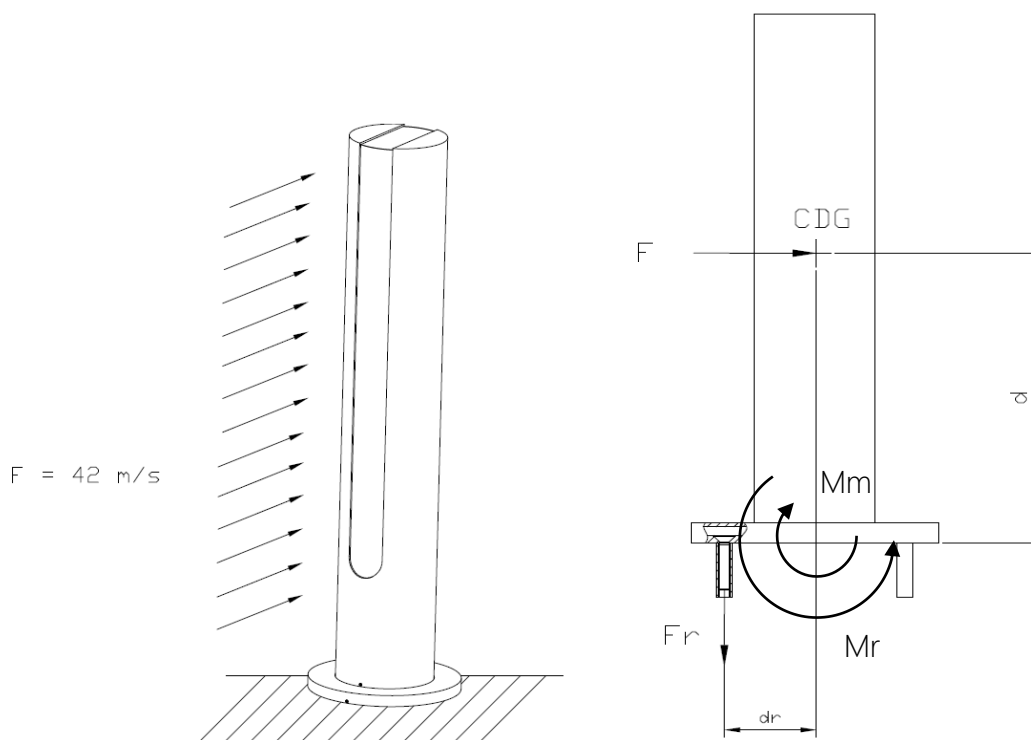


Figura 5.115. Planteamiento del problema (Fuente: propia)

La fuerza aplicada en la luminaria produce un momento motor, para no volcar son los tornillos los que ofrecen una fuerza de resistencia que genera un par resistente para conseguir el equilibrio.

Una fuerza distribuida se puede reducir a una fuerza puntual aplicada en el centro de gravedad del cuerpo sometido a estudio, por lo que se aplica esta simplificación. La posición del centro de gravedad se obtiene directamente del programa CAD, a partir de este punto se obtienen las distancias d y d_r con valor de 251.37 y 60.4 mm respectivamente.

-1er paso: Presión ejercida por el aire

Se calcula la presión ejercida por el viento con la fórmula 5.39, caso más desfavorable de pared plana, y mediante la fórmula 5.40, teniendo en cuenta el coeficiente de arrastre. Para la obtención del coeficiente de arrastre se realiza una simulación fluidodinámica vista en el anexo A6.

$$P_1 = 1.22 \cdot v^2 = 1.22 \cdot 41.67^2 = 2118.06 \text{ Pa} \quad (\text{Ec. 5.39})$$

$$P_2 = \frac{C_d \cdot 1.223 \cdot v^2}{2} = \frac{0.47 \cdot 1.223 \cdot 41.67^2}{2} = 499.055 \text{ Pa} \quad (\text{Ec. 5.40})$$

-2do paso: Fuerza ejercida por el aire

El área perpendicular a la dirección del viento será la suma de la parte visible de la carcasa y del difusor además del embellecedor:

$$A_T = A_1 + A_2 = 104 \cdot 591 + 146 \cdot 10 = 0.063 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 5.41})$$

Por lo que la fuerza obtenida es:

$$F_{aire,n} = P_n \cdot A_T \quad (\text{Ec. 5.42})$$

$$F_{aire,1} = 2256 \cdot 0.063 = 133.44 \text{ N} \quad (\text{Ec. 5.43})$$

$$F_{aire,2} = 499.05 \cdot 0.063 = 31.43 \text{ N} \quad (\text{Ec. 5.44})$$

-3r paso: Fuerza resistente

Ya se ha explicado que la fuerza ejercida por el aire es una fuerza uniformemente distribuida, que se puede reducir a una fuerza puntual aplicada en el centro de gravedad de la luminaria. Se toman las fuerzas calculadas en el paso anterior como fuerzas puntuales aplicadas en este punto, produciendo un momento motor en la base de la luminaria.

Para contrarrestar el efecto producido por este momento motor aparece un momento resistente generado por el tornillo izquierdo, aislando la fuerza resistente de la fórmula 5.46 obtenemos la fuerza ofrecida por los tornillos de sujeción.

$$M_m = M_r \quad (\text{Ec. 5.45})$$

$$F_{aire,n} \cdot d = F_r \cdot d_r \quad (\text{Ec. 5.46})$$

$$F_{r,1} = \frac{133.44 \cdot 251.37}{60.4} = 555.34 \text{ N} \quad (\text{Ec. 5.47})$$

$$F_{r,2} = \frac{31.43 \cdot 251.37}{60.4} = 130.8 \text{ N} \quad (\text{Ec. 5.48})$$

-4o paso: esfuerzo del tornillo (repartir)

Una vez tenemos las fuerzas se obtiene la tensión de tracción a la que trabaja el tornillo. Se considera el área resistente como el área correspondiente al diámetro nominal del tornillo, en nuestro caso para un M6.

$$\sigma_{r,n} = \frac{F_{r,n}}{A_r} \quad (\text{Ec. 5.49})$$

$$\sigma_{r,1} = \frac{555.34}{\pi \cdot 3^2} = 19.64 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 5.50})$$

$$\sigma_{r,2} = \frac{130.8}{\pi \cdot 3^2} = 4.62 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 5.51})$$

-5o paso: obtención de la tensión de Von Mises

Se adopta el criterio de tensión de Von Mises para calcular la tensión de trabajo del tornillo por lo que primero se calculan las tensiones principales necesarias para aplicar la fórmula 5.53.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{x,y}^2} \quad (\text{Ec. 5.52})$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (\text{Ec. 5.53})$$

Los cálculos se realizan para el caso más crítico que es la aplicación de la tensión 1.

$$\sigma_{1,2} = \frac{19.64}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{19.64}{2}\right)^2} \rightarrow \sigma_1 = 19.64 \text{ MPa} ; \sigma_2 = 9.82 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 5.54})$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(19.64 - 9.82)^2 + (9.82)^2 + (-19.64)^2}{2}} = 16.25 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 5.55})$$

-6o paso: obtención del factor de seguridad

El paso final es la comparación entre el esfuerzo real soportado por el tornillo según el criterio de Von Mises con el límite asumido por el material, para el acero A2 el límite se encuentra en los 250 MPa, valor muy superior al de trabajo por lo que podemos asegurar que resistirá ya que se asegura un FS muy por encima del 2 necesario.

$$FS = \frac{\sigma_{material}}{\sigma_{trabajo}} \quad (\text{Ec. 5.56})$$

$$FS = \frac{250}{16.25} = 15.38 \quad (\text{Ec. 5.57})$$

La tabla 5.36 muestra los valores obtenidos en la simulación realizada en el anexo A6. La fuerza máxima obtenida mediante el análisis fluidodinámico es muy cercana al valor calculado mediante la fórmula que considera el coeficiente de arrastre.

La presión obtenida por simulación también coincide con la presión calculada sin tener en cuenta el coeficiente de arrastre, esto es debido a que el programa solo nos da el valor máximo producido en un punto y no el valor medio, en este caso en la línea infinitesimal dónde no se aprecia la forma cilíndrica de la luminaria por lo que se concluye que son resultados fiables debido a la coincidencia de valores y a la convergencia de los parámetros simulados después de 401 iteraciones.

TABLA 5.36: Resultados obtenidos en el análisis fluidodinámico del anexo A6

PARÁMETRO	VALOR
Coeficiente de arrastre (Cd)	0.464
Fuerza máxima (N)	32.65
Fuerza de fricción (N)	0.516
Presión máxima (N)	2457
Velocidad máxima (m/s)	68.9

5.5.3.1.2 Simulación

Ahora solo falta corroborar si la hipótesis sobre el aguante de los tornillos es aceptable y garantizar un sistema de anclaje seguro. Para introducir el planteamiento inicial del problema en el software de simulación primero se seleccionan los materiales de las piezas estudiadas, éstas son la carcasa, el difusor, la pieza base, el embellecedor, la junta tórica, los tacos y los tornillos de anclaje ya que son realmente las piezas sometidas a esfuerzos.

TABLA 5.37: Datos necesarios para la simulación estática

Material	Límite elástico (MPa)	Límite de ruptura (MPa)
Acero A2	210	500
Acero A4	600	800
AISI 316L	170	485
Aluminio 6061	55.15	124.1
PC	65	62.7
Silicona (aprox. lineal)	1.2	7.2

**Nota: los datos han sido extraídos de la base de datos de Solidworks*

El segundo paso es especificar el tipo de contacto mantenido entre las piezas, se utilizará un contacto global basado en la unión rígida además de existir contactos de tipo perno avellanado con los tacos de fijación al suelo. Es aquí donde aparece el primer problema ya que al fijar este tipo de contacto se simulan los esfuerzos que produce la utilización de dicho tornillo en sus caras de contacto pero no se analiza el tornillo como pieza por lo que se realizará de forma independiente.

En el primer estudio se analiza la influencia del tornillo de fijación avellanado de M6 con un par de apriete de 3.5 N·m al introducirse en el taco, el segundo estudio analizará las tensiones que se producen en el tornillo por lo que se eliminarán los contactos tipo perno y se incluirán los tornillos como una pieza más, manteniendo un contacto de unión rígida global de todos los componentes estudiados.

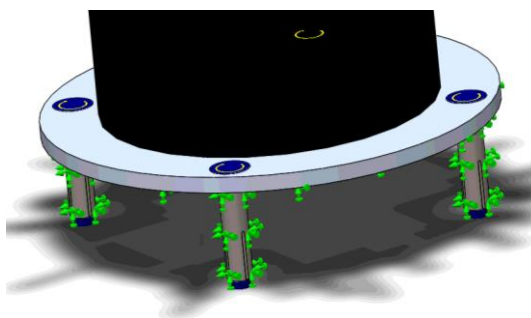


Figura 5.116. Estudio con tipo de contacto de perno y como unión rígida global (Fuente: propia)

Una vez fijados los contactos se introduce la restricción de fijación empotrada en los tacos metálicos, posteriormente se introducen las cargas producidas por la acción del viento. El tipo de carga es una presión uniforme en toda la sección perpendicular a la dirección del viento con un valor de 500 Pa, esta presión se fija de acuerdo a los valores medios obtenidos de la simulación fluidodinámica del anexo A6. En la figura 5.117 se muestra la situación descrita.

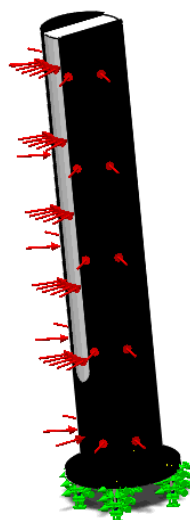


Figura 5.117. Introducción de cargas externas y sujeciones (Fuente: propia)

El siguiente paso es la obtención del mallado del conjunto, para comprobar si esta malla es precisa se crea un trazado de malla, en la figura 5.118 se ve la distribución del cociente de aspecto dónde nuestra malla se puede clasificar como mallado fino.

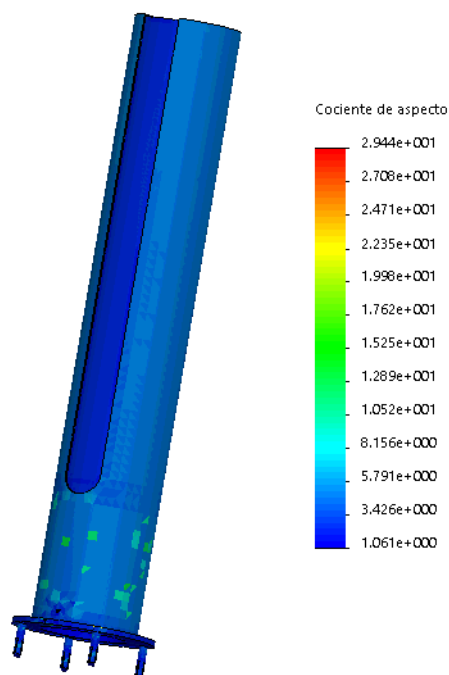


Figura 5.118. Análisis de calidad de malla (Fuente: propia)

Una vez ejecutada la simulación solo nos queda valorar los resultados de tensiones y desplazamientos obtenidos. Como se ha comentado anteriormente primero se evalúa la influencia que el tornillo de fijación tiene sobre el taco metálico ya que se debe tener en cuenta la precarga del tornillo.

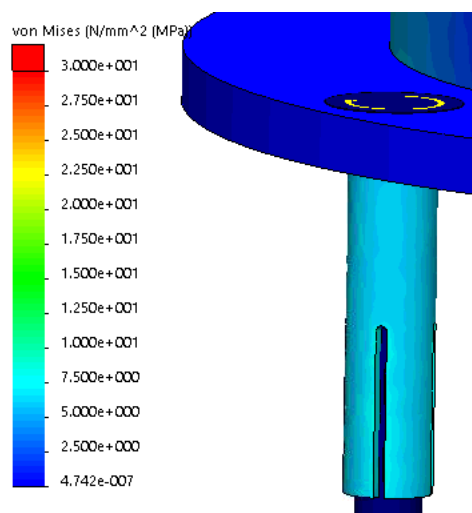


Figura 5.119. Influencia del tornillo (Fuente: propia)

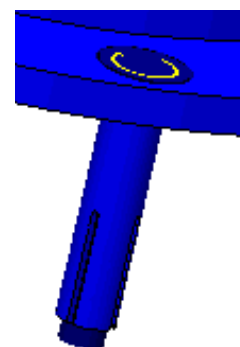


Figura 5.120. FS<2 en azul (Fuente: propia)

Con los resultados obtenidos se asegura que el taco resistirá a estos efectos como era de esperar, las tensiones máximas obtenidas son próximas a los 7.5 MPa y se garantiza un factor de seguridad mayor a 2 en toda la luminaria. Los resultados de tensión y desplazamientos se analizan en la siguiente simulación.

Dicha simulación compara dos estudios diferentes, uno realizado considerando toda la luminaria como un único elemento y el otro con contacto sin penetración entre las piezas cosa que mejora la precisión de los resultados al no considerar todo el cuerpo como un único elemento rígido.

-Contacto unión rígida:

En esta simulación se obtiene una tensión máxima de 32.7 MPa situada en la parte interior de uno de los tacos. En la figura 5.121 se aprecia como realmente la luminaria no está sometida a una carga excesiva debido a su geometría cilíndrica por lo que la mayor parte de la superficie de la luminaria se encuentra en valores muy bajos de tensión, siendo los máximos no superiores a 7 MPa en zonas cercanas a la base, figura 5.122, 5.123 y 5.124 con escalas más reducidas.

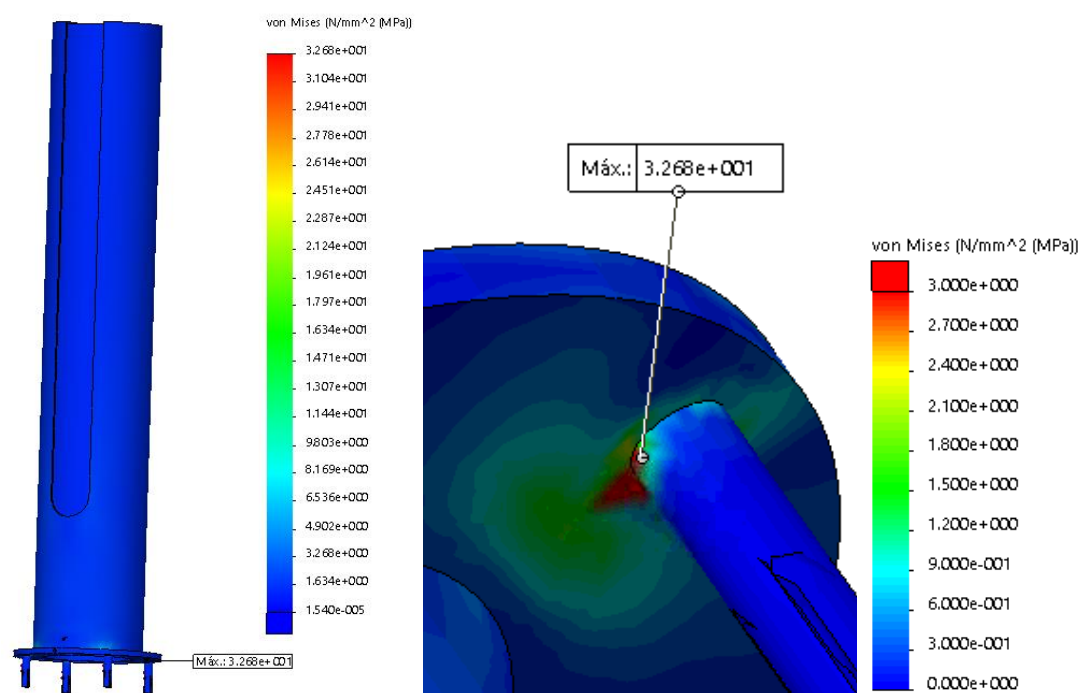


Figura 5.121. Distribución de tensiones y punto máximo en el tornillo secundario (Fuente: propia)

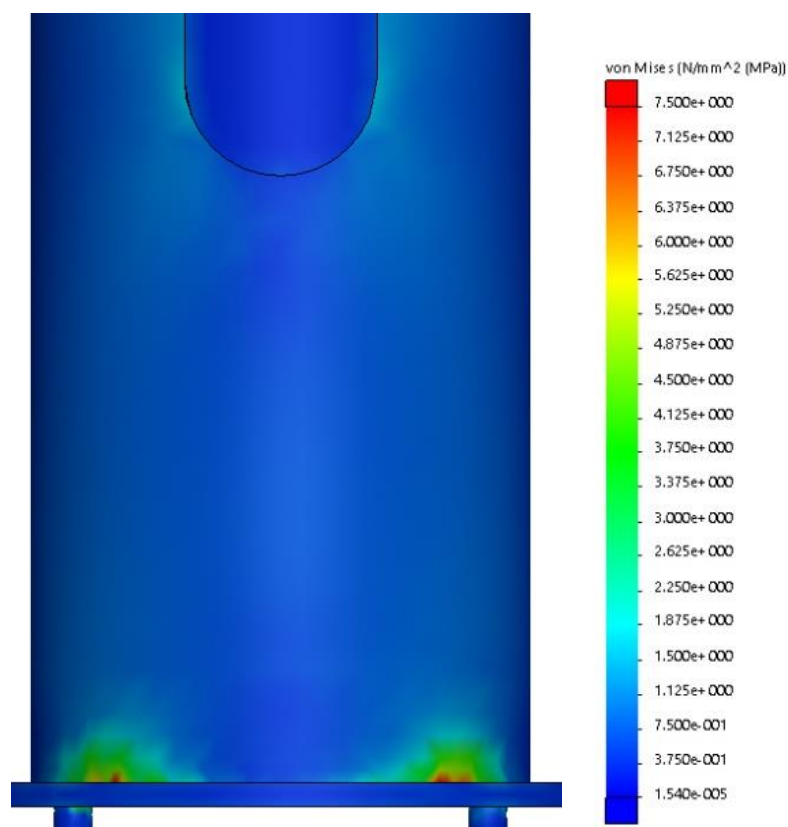


Figura 5.122. Distribución de tensiones con una escala más reducida del plano perpendicular a la acción del viento (Fuente: propia)

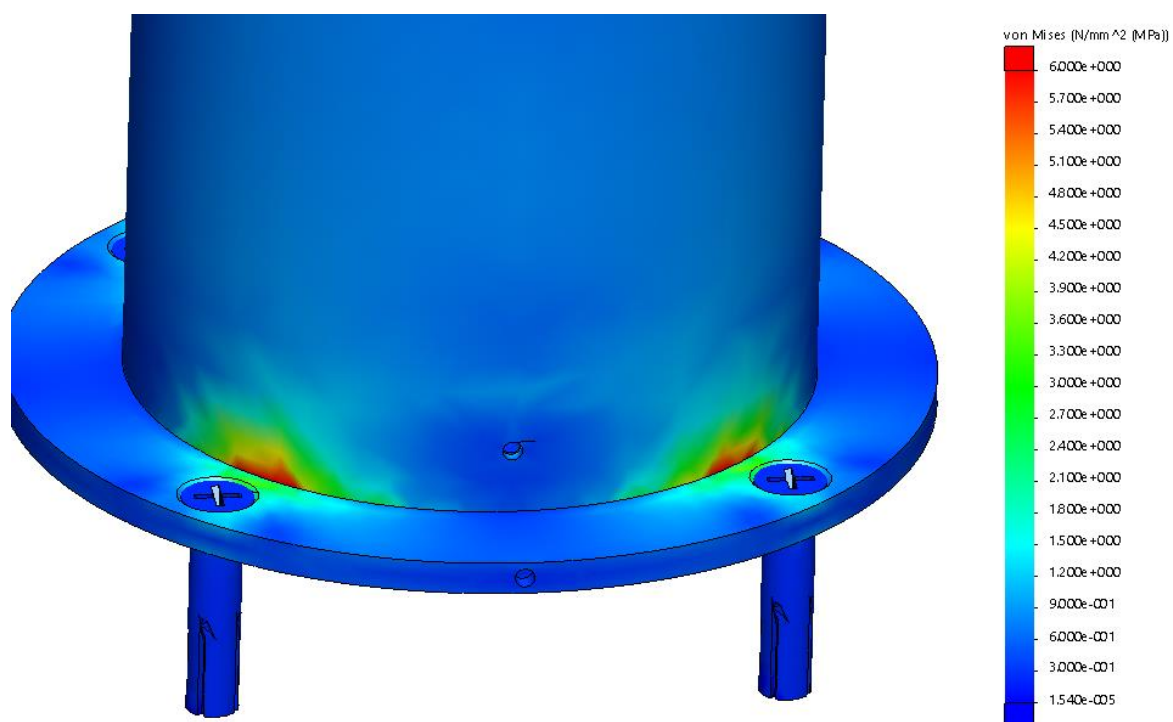


Figura 5.123. Puntos más tensionados de la base (Fuente: propia)

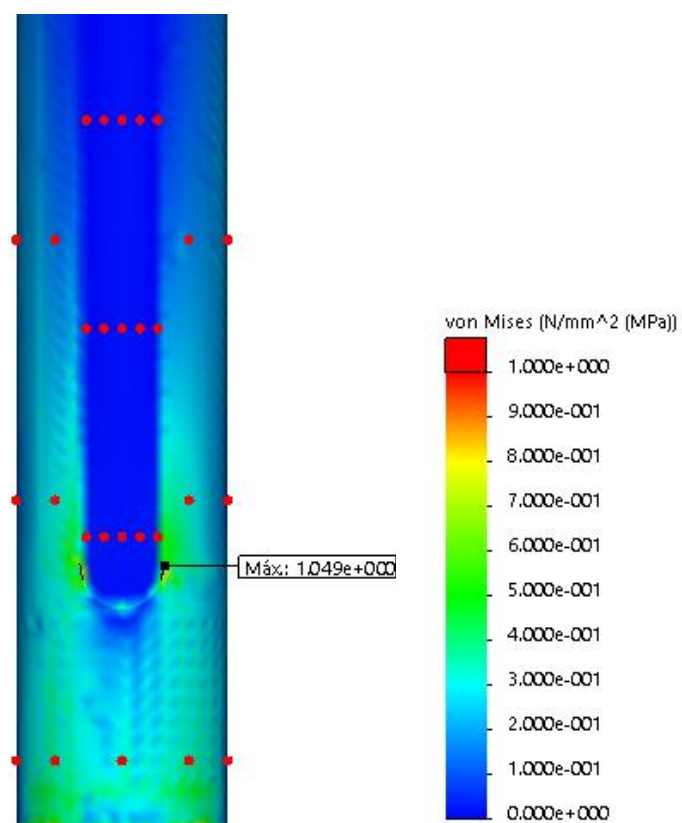


Figura 5.124. Punto más tensionado de la pieza difusor (Fuente: propia)

Respecto a los elementos de fijación (tacos y tornillos) se puede observar en las figuras 5.126 y 5.127 que las cargas máximas soportadas, próximas a los 16 MPa. Estos puntos corresponden las zonas más rojizas de la figura 5.125, donde se sitúan los tacos resistentes del planteamiento inicial de cálculo analítico.

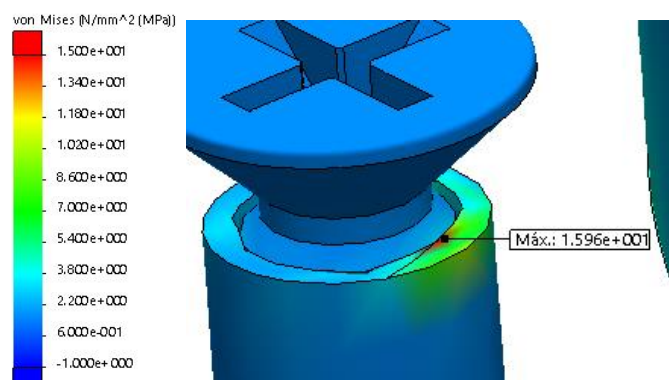


Figura 5.126. Punto más tensionado del taco con 16 MPa
(Fuente: propia)

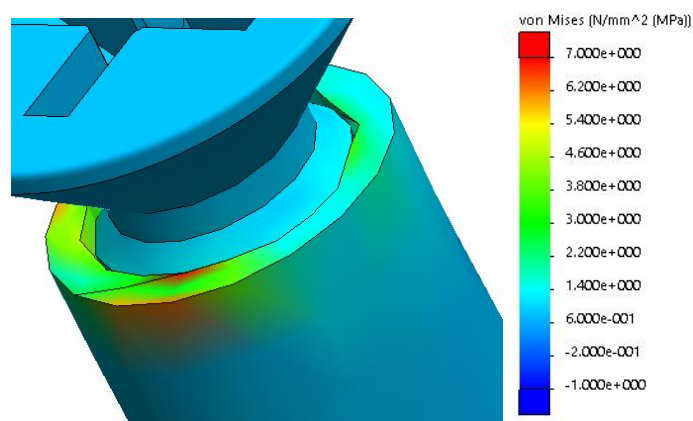


Figura 5.127. Distribución de tensiones del taco con una escala más reducida (Fuente: propia)

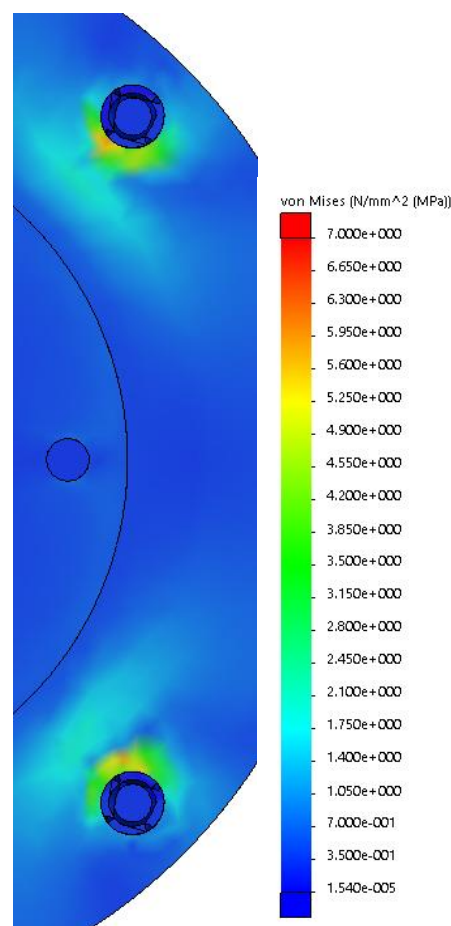


Figura 5.125. Distribución de tensiones en la cara inferior de la pieza base (Fuente: propia)

Las tensiones que soportan los tornillos alcanzan los 3 MPa como se ve en la figura 5.128 dónde el tornillo uno es el tornillo resistente del planteamiento inicial y el dos corresponde al del plano secundario. En general los resultados de tensiones obtenidas son valores muy inferiores a los límites máximos de aguante del material por lo que realizando un trazado del factor de seguridad (figura 5.129) se ve como el mínimo obtenido es de 9.42 por lo que según esta simulación no existe problema en cuanto a la fijación de la luminaria.

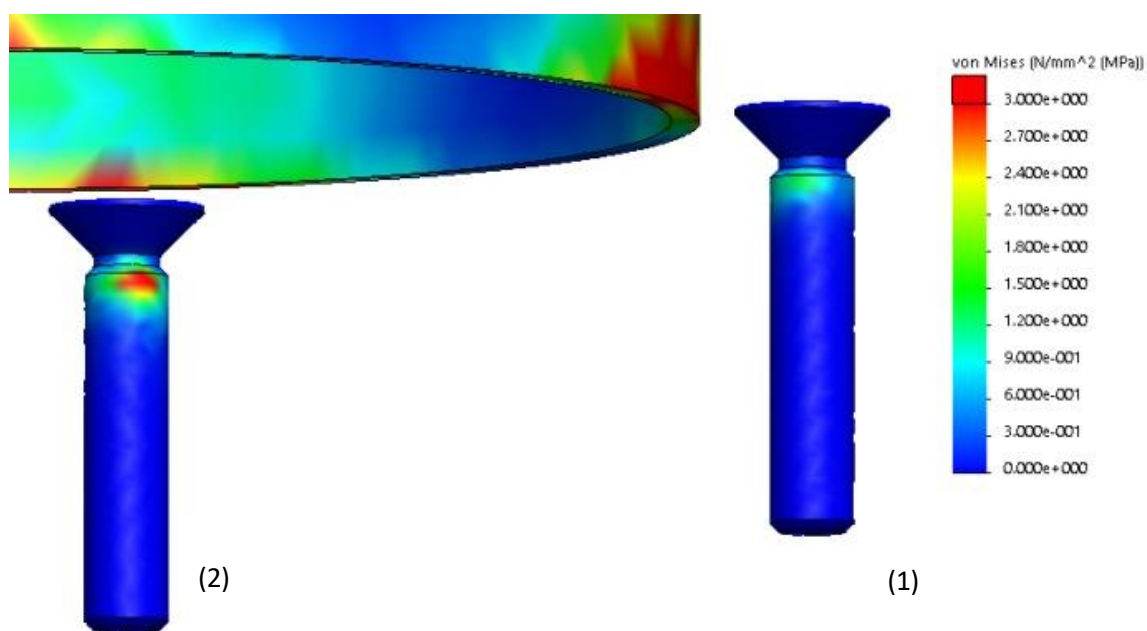


Figura 5.128. Tensión de Von Mises en tornillo resistente (1) y tornillo secundario (2) (Fuente: propia)

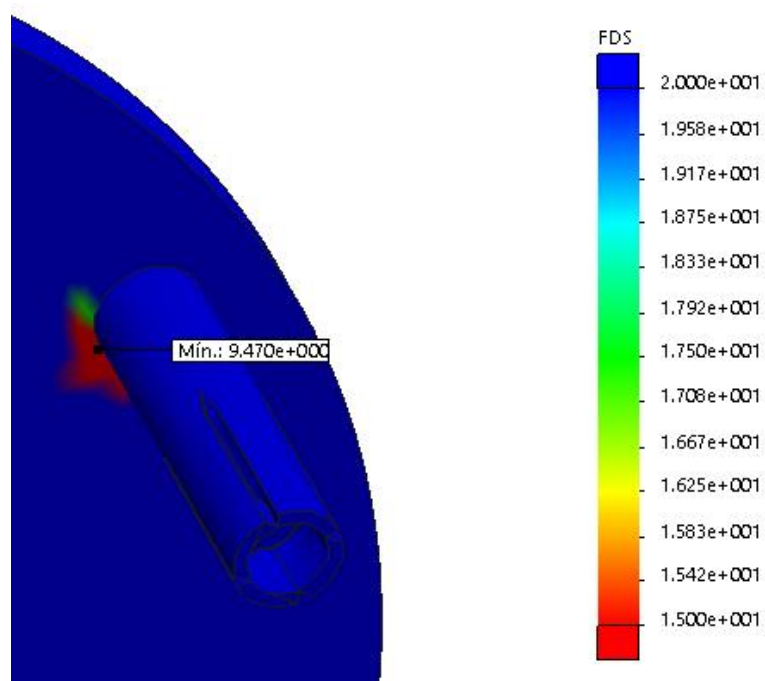


Figura 5.129. Trazado del factor de seguridad con un valor mínimo de 9.47 (Fuente: propia)

Por último, si se analizan los desplazamientos del conjunto se obtiene un valor máximo de 0.03 mm y un valor mínimo de cero en la parte más comprometida (base) por lo que los elementos de fijación son seguros.

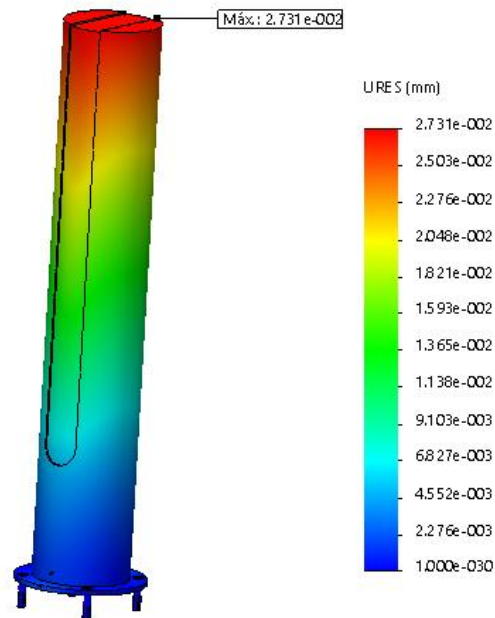


Figura 5.130. Desplazamiento resultante máximo (Fuente: propia)

Ahora bien, ya se ha comentado como este estudio corresponde a un planteamiento de unión rígida entre elementos, permitiendo tener una idea de cuáles pueden ser los puntos más críticos y haciendo una aproximación de los valores de tensión y desplazamiento.

Para asegurar los resultados se realiza la misma simulación con un contacto entre componentes sin penetración, un planteamiento más exacto ya que se considera más próximo a la realidad.

Según este nuevo estudio la tensión máxima es de 48.46 MPa (figura 5.131), un valor de 16 MPa superior comparado al estudio de unión rígida. En la parte frontal las tensiones se sitúan sobre los 10 MPa y en la posterior sobre los 5 MPa (figura 5.132), también valores superiores a los anteriores.

Respecto a los tacos de anclaje aparecen tensiones de hasta 32 MPa en la arista superior de la parte interna (figura 5.133).

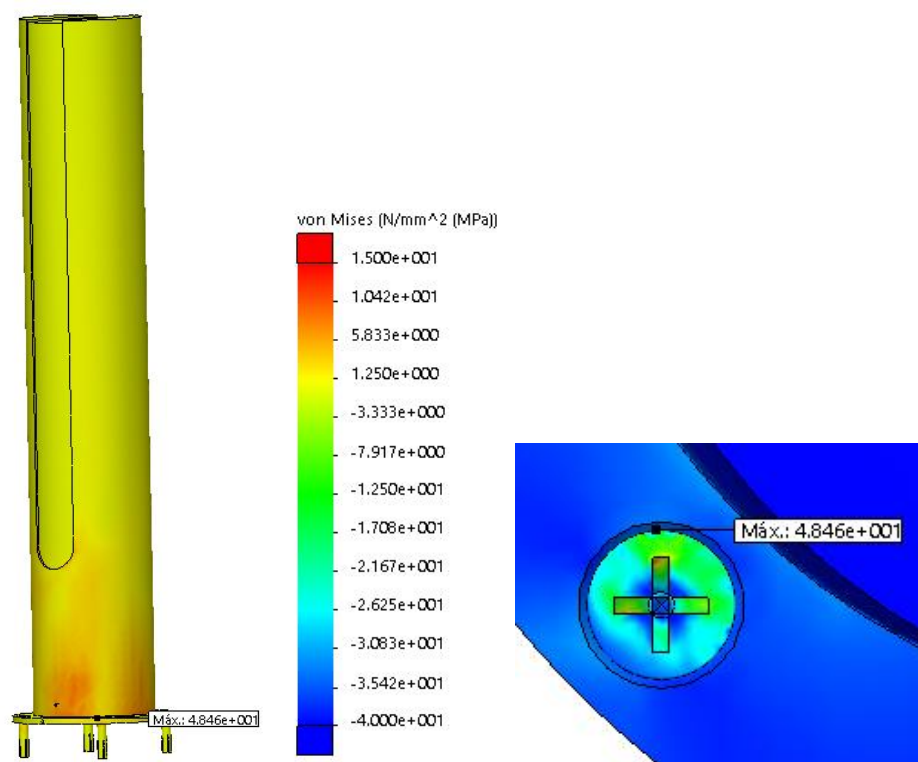


Figura 5.131. Distribución de tensiones y punto máximo (Fuente: propia)

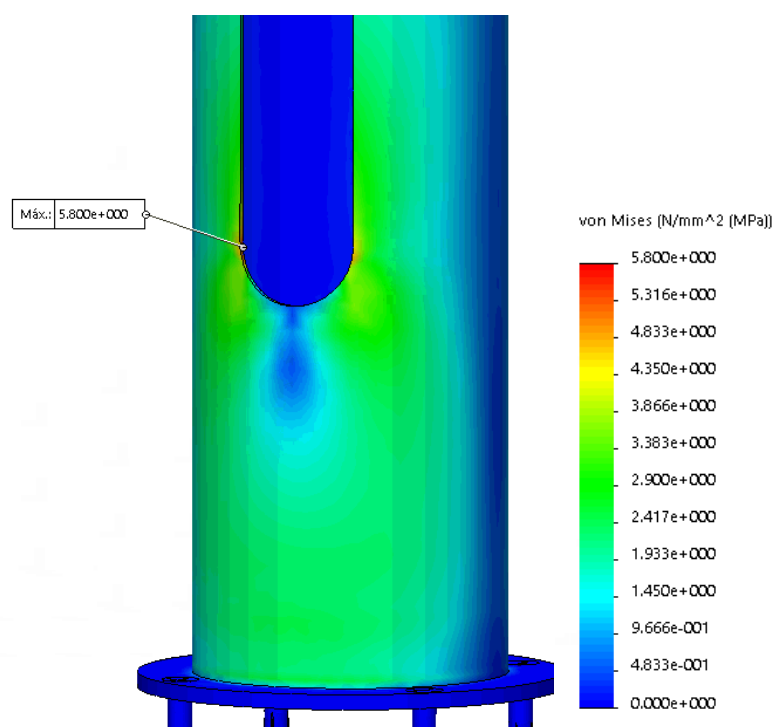


Figura 5.132. Tensión máxima de la cara posterior (Fuente: propia)

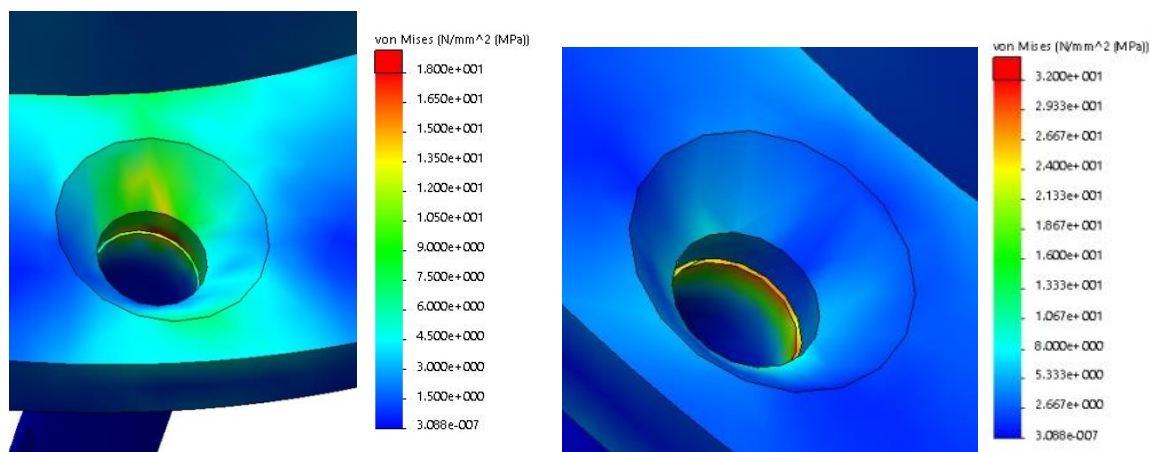


Figura 5.133. Tensión máxima taco secundario y taco resistente, respectivamente (Fuente: propia)

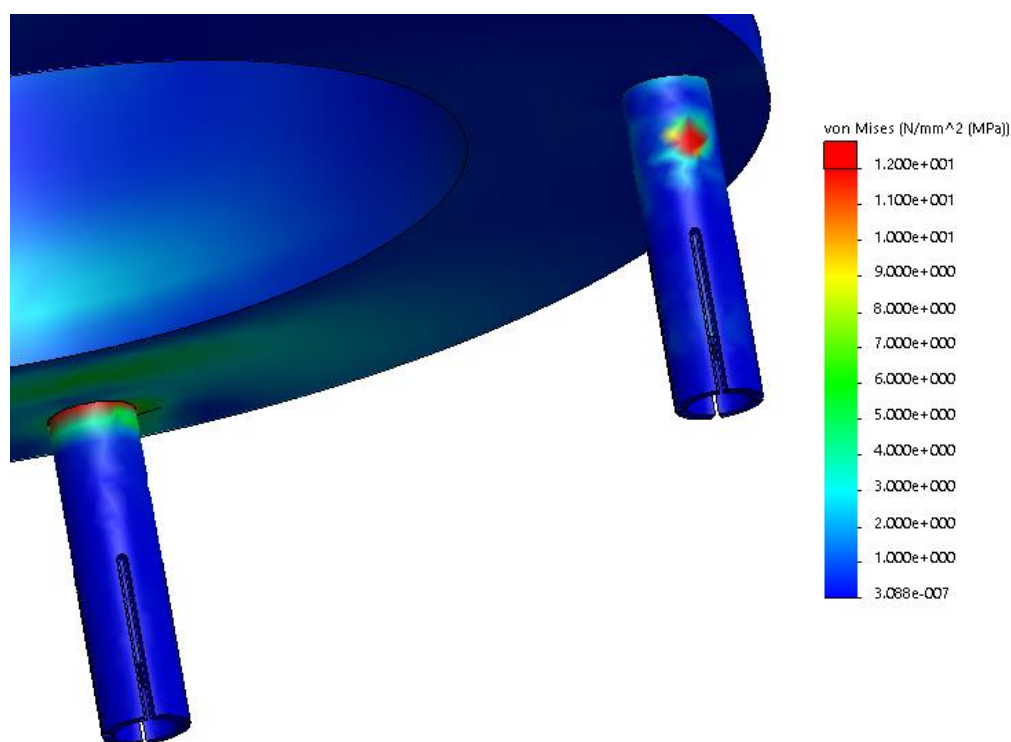


Figura 5.134. Distribución de tensiones en el taco resistente (izquierda) y taco secundario (derecha) (Fuente: propia)

En la imagen anterior se ve como el taco resistente soporta más tensión en la parte superior debido a la tracción del tornillo y el taco secundario soporta más tensión en su cara posterior debido a la compresión producida por el momento motor.

Los tornillos son las partes más afectadas, principalmente los tornillos resistentes ya que los secundarios apenas están tensionados (figura 5.135). La parte más crítica es la de la cabeza del

tornillo, especialmente la superficie de la entalla más próxima a la carcasa con una tensión aproximada de 30 MPa. La figura 5.135 muestra el trazado de tensiones del tornillo resistente junto con una vista frontal del plano perpendicular a la dirección de la fuerza del viento.

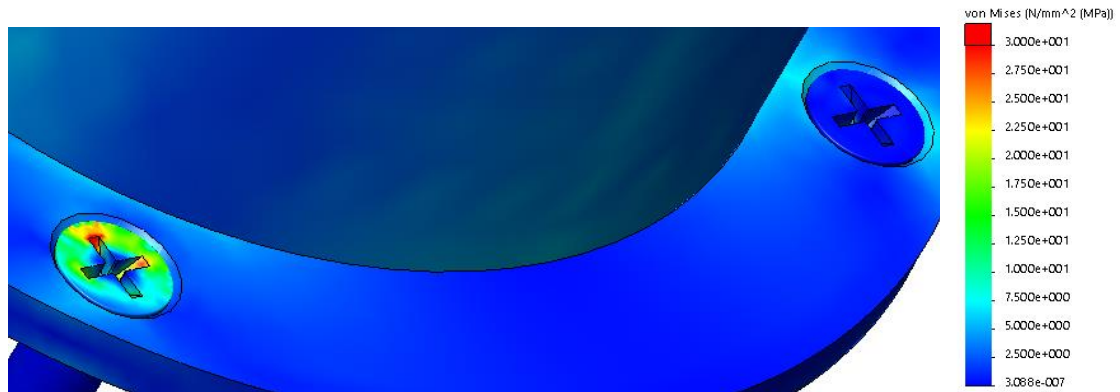


Figura 5.135. Tensión de Von Mises para los tornillos resistentes (izquierda) y secundarios (derecha)
(Fuente: propia)

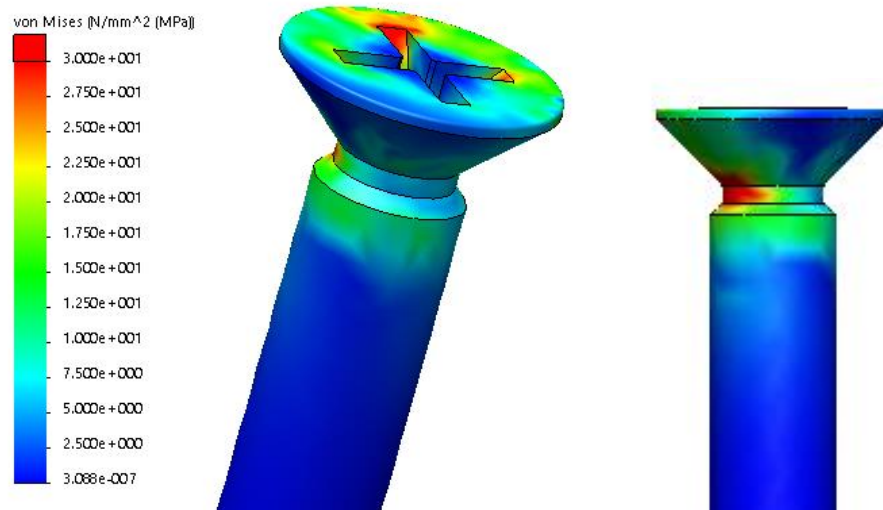


Figura 5.136. Tensiones en el tornillo resistente (izquierda) y vista del plano perpendicular a la acción del viento (derecha) (Fuente: propia)

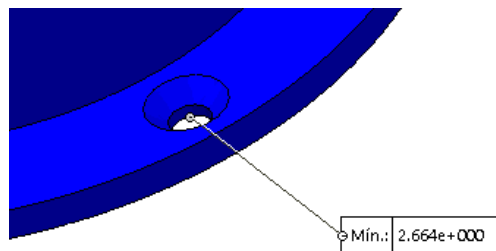


Figura 5.137. Punto con factor de seguridad mínimo (Fuente: propia)

Para garantizar que los esfuerzos pueden ser soportados por el material se realiza un trazado del factor de seguridad, la imagen 5.137 determina que el factor de seguridad mínimo es de 2.66 (3 veces inferior al obtenido con anterioridad), suficiente para garantizar la seguridad de la sujeción al suelo mediante los tornillos. Este punto corresponde al orificio de la pieza base donde se alojan los tornillos secundarios ya que existe una compresión entre esta pieza de aluminio y el tornillo de acero.

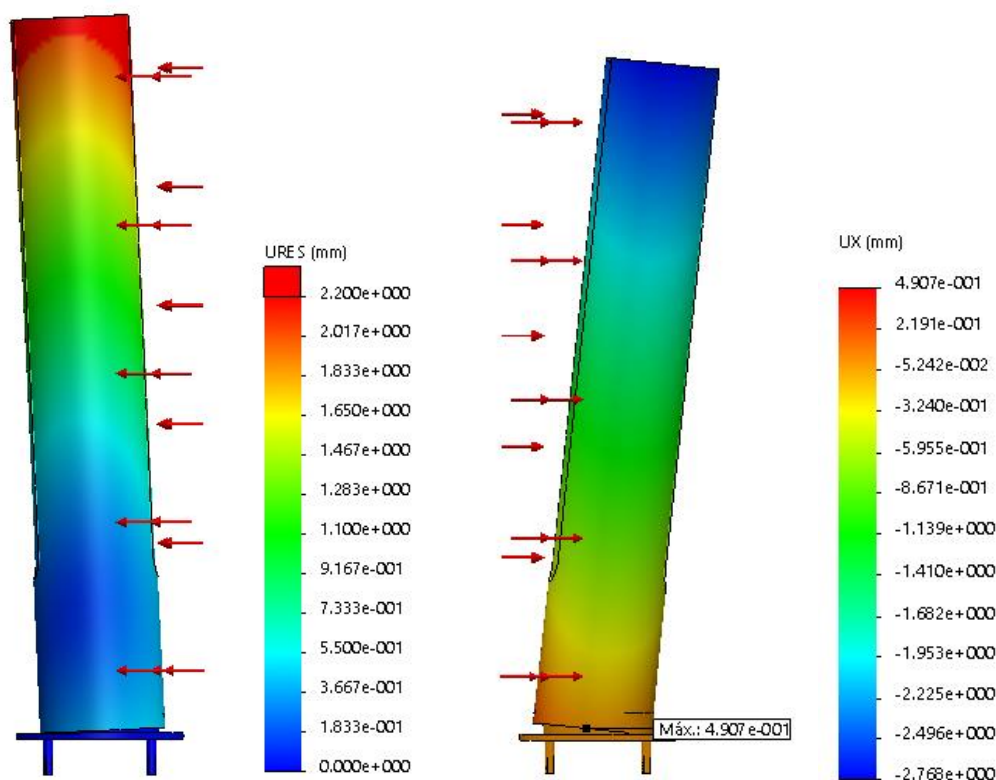


Figura 5.138. Desplazamiento resultante (izquierda) y desplazamiento en el eje x (derecha)
(Fuente: propia)

Respecto a los desplazamientos se comprueba que son superiores a los valores anteriores con un desplazamiento resultante máximo de 2.2 mm y un desplazamiento en dirección contraria al eje x de 2.8 mm.

En definitiva, mediante el análisis de las dos simulaciones se garantiza una sujeción apropiada frente a la acción del viento para unas condiciones determinadas, se puede considerar el segundo análisis como un análisis más ajustado a la realidad.

Prestando atención solamente a los tornillos se obtuvo una tensión de 20 MPa a través del cálculo analítico, 3 MPa según la simulación como conjunto rígido (que queda descartado) y una simulación con interacción sin penetración entre componentes de 30 MPa, valor más similar al analítico.

Por esta razón se concluye que los resultados correspondientes a la segunda simulación quedan validados y, por lo tanto, se garantiza la sujeción del anclaje con un factor de seguridad superior a 2.5.

5.5.3.2. Resistencia frente a posibles fuerzas producidas en funcionamiento normal

En este apartado se simula una posible fuerza aplicada durante el funcionamiento del producto una vez instalado. Existe la posibilidad de que alguna persona ejerza una fuerza de compresión vertical ya sea sentándose encima o colocando una carga pesada en la cara superior.

La parte exterior más crítica corresponde al difusor ya que tiene una resistencia inferior a la del acero. La figura 5.139 muestra la carga externa aplicada en la luminaria, una fuerza con valor de 1500 N fijado para ver el comportamiento producido por un peso crítico de unos 150 Kg.

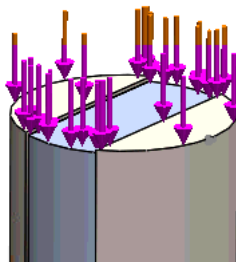


Figura 5.139. Planteamiento bajo estudio, $F=1500\text{N}$ (Fuente: propia)

El planteamiento del problema siempre es el mismo con la diferencia de que es la carga lo que varía por lo que se ejecuta este estudio y se analizan los resultados obtenidos a continuación. En primer lugar se aprecia una tensión máxima de 96 MPa, en la figura 5.140 se muestra la distribución de tensiones, siendo la parte más crítica la superficie superior de la carcasa (figura 5.141) y no afectando a la luminaria en su totalidad ya que las tensiones son nulas a medida que nos acercamos a la base.

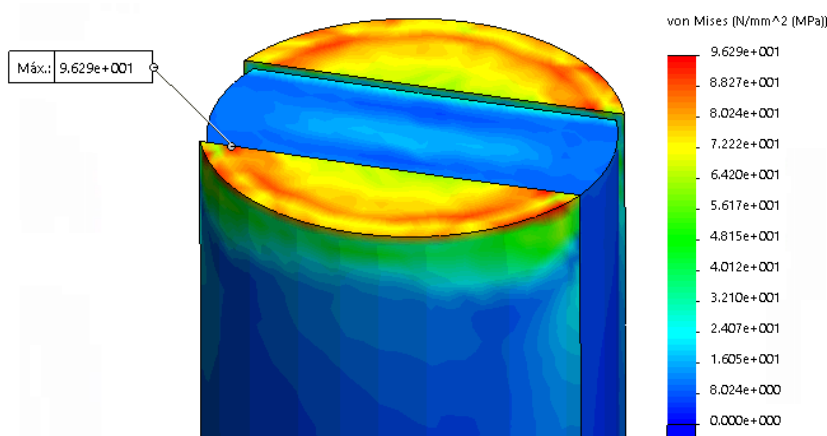


Figura 5.140. Distribución de tensiones (Fuente: propia)

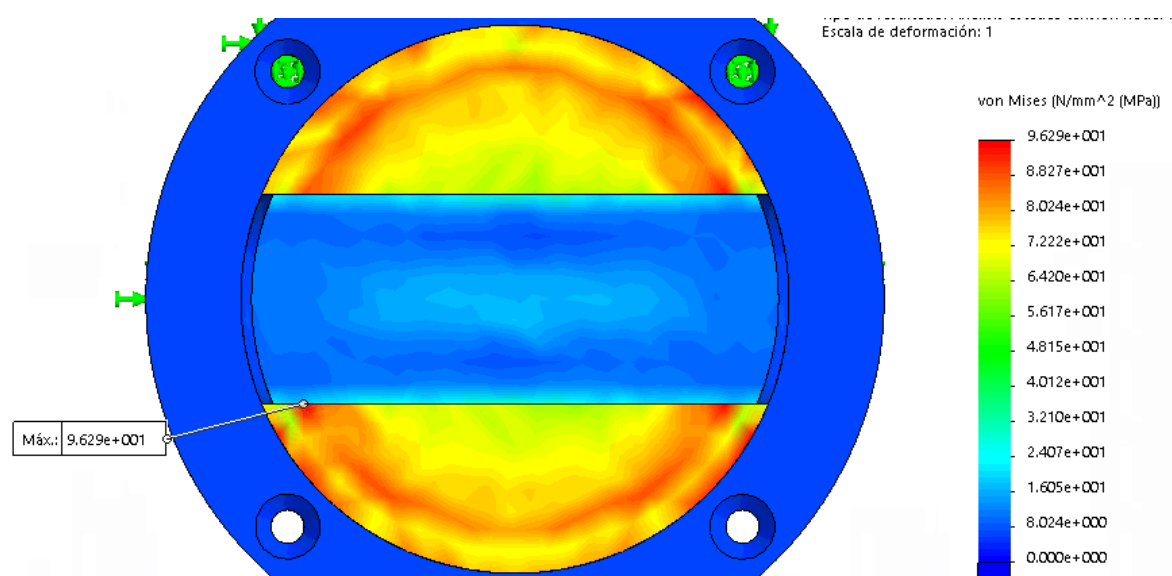


Figura 5.141. Distribución de tensiones parte superior (Fuente: propia)

Otro valor importante es el de los desplazamientos, en la imagen 5.142 se ve cómo el desplazamiento máximo se encuentra en el centro de la cara superior de la luminaria, exactamente en la tapa del difusor ya que el policarbonato tiene un límite elástico interior que el acero. El desplazamiento máximo obtenido es de 0.8 mm por lo que los efectos de esta carga son cuasi inapreciables.

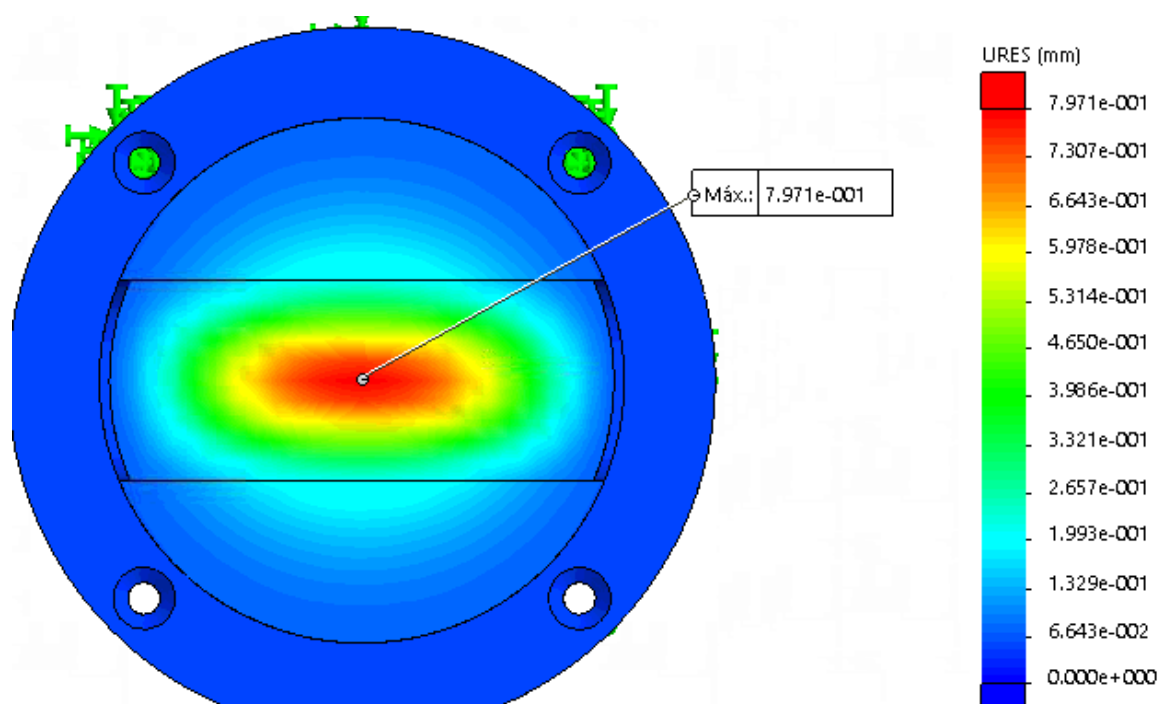


Figura 5.142. Distribución de los desplazamientos resultantes (Fuente: propia)

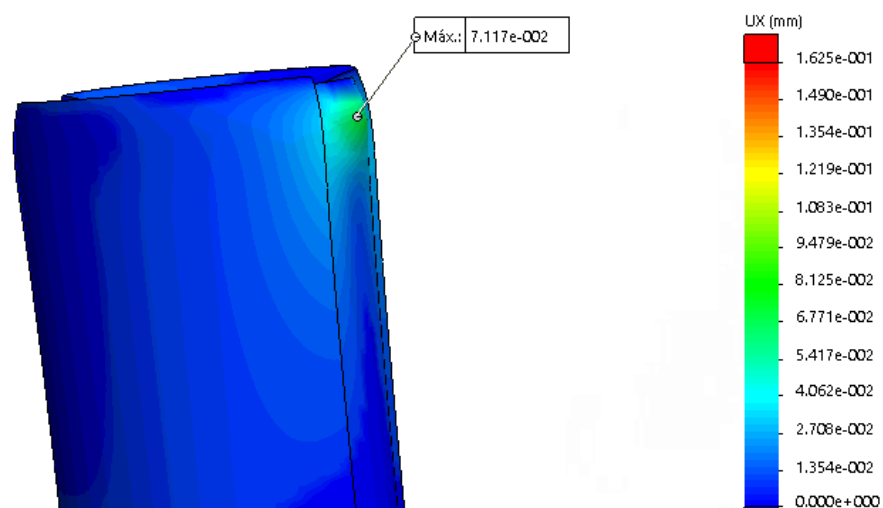


Figura 5.143. Escala de deformación de 75 para los desplazamientos resultantes (Fuente: propia)

Otra deformación importante es la producida en el difusor en la dirección X (según los ejes de coordenadas estipulados en las simulaciones), se analiza el desplazamiento en esta dirección ya que el difusor, al estar contenido dentro de la carcasa, puede romper si su desplazamiento en x es elevado, no es el caso ya que se desplaza 0.07 mm pero se debe justificar.

Es aquí donde entra en juego el análisis de posibles roturas producidas, el software facilita la creación de un trazado según un factor de seguridad fijado, situado en un rango entre 1.5 y 2 por lo que si se encuentra por debajo de este límite lo más probable es que rompa o, mejor dicho, no se puede garantizar la seguridad.

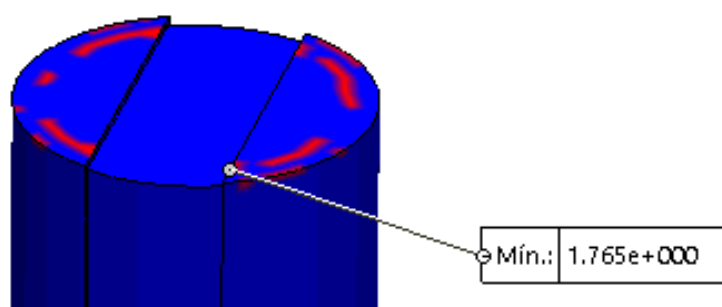


Figura 5.144. Factor de seguridad mínimo de 1.765 (Fuente: propia)

Por lo tanto se concluye que con la obtención de un factor de seguridad dentro del rango estipulado se garantiza que la luminaria no romperá y aguantará satisfactoriamente la situación de carga analizada.

6. PRODUCTO DESARROLLADO

En este capítulo se detalla todo lo relativo al producto final desarrollado, concretamente el sistema de referenciado de cada modelo, el escandallo de componentes, el diagrama de operaciones de fabricación de cada pieza, el proceso de montaje y las posibles mejoras.

6.1. Sistema de referencia

El producto diseñado es más bien una familia de productos que dispone de varios modelos, además se ofrecen versiones diferentes de cada uno de estos modelos por lo que será necesario proporcionar a cada versión una referencia identificativa que permita el seguimiento de la producción y de la gestión de stocks mediante un programa ERP o sistema de planificación de recursos empresariales.

TABLA 6.1: Referencias para las versiones del producto IDRA

LUMINARIA IDRA				
REFERENCIA	POTENCIA	TCC	FLUJO	CONEXIÓN
IDRA 400				
VEEI01A-631727	7	2700	630	AC
VEEI01A-631730	7	3000	630	AC
VEEI01A-631740	7	4000	630	AC
VEEI01A-631765	7	6500	630	AC
VEEI01B-631727	7	2700	630	DC
VEEI01B-631730	7	3000	630	DC
VEEI01B-631740	7	4000	630	DC
VEEI01B-631765	7	6500	630	DC
IDRA 600				
VEEI01C-751827	8	2700	756	AC
VEEI01C-751830	8	3000	756	AC
VEEI01C-751840	8	4000	756	AC
VEEI01C-751865	8	6500	756	AC
VEEI01D-751827	8	2700	756	DC
VEEI01D-751830	8	3000	756	DC
VEEI01D-751840	8	4000	756	DC
VEEI01D-751865	8	6500	756	DC

El nombre característico de la familia del producto es IDRA, esta familia se divide en dos modelos, según sus dimensiones tenemos el modelo IDRA 400 y el modelo IDRA 600. Cada uno de ellos ofrece varias versiones según su TTC, en la tabla 6.1 vemos las referencias creadas para controlar cada luminaria. El sistema de referencia empleado sigue la siguiente trazabilidad:

VEEI	XX	X	-	XX	X	X	XX
1	2	3		4	5	6	7

1-Código característico de los productos de Vecxa

2-Familia de producto (01)

3-Modelo de producto (A para modelo 400, B modelo 600, con conexión AC)

4-Dos primeras cifras del flujo luminoso

5-Número de cifras a partir de la segunda posición de flujo luminoso

6-Potencia

7-Dos primeras cifras correspondientes a la TTC

6.2. Características

Para poder homologar y comercializar un producto es necesario el marcado CE, para ello el fabricante debe cumplir todas las normativas que lo complementan y proporcionar la información necesariamente obligatoria según las directivas que la rigen, visto en el capítulo 7 y 8. A continuación se muestra toda la información que el fabricante debe valorar junto con los parámetros obtenidos en la luminaria VEEI01A-631727.

TABLA 6.2: Características generales de funcionamiento

Eficacia luminosa (lm/w)	Por determinar
Vida útil (h)	50000
Color luminaria	Negro
Temperatura de utilización	-25 a 40 °C
Uso	Exterior
Dimming	No regulable
IP	A espera de ensayo
IK	A espera de ensayo
Clase	I

TABLA 6.3: Características físicas

Peso	Por determinar
X_{CG}	72.4
Y_{CG}	251.37
Z_{CG}	-0.27
Dimensiones generales	Ø100x400

TABLA 6.4: Características lumínicas

Flujo luminoso real	Por determinar
IRC	>80
Ángulo del haz luminoso	A espera de ensayo
Intensidad pico (cd)	A espera de ensayo
Invariabilidad del color	3SDCM
TTC (K)	2700

TABLA 6.5: Características eléctricas de funcionamiento

Voltaje de entrada	230 VAC
Frecuencia de trabajo (Hz)	50
Factor de potencia	Por determinar
THD %	Por determinar
Flicker	Por determinar

TABLA 6.6: Otros parámetros de funcionamiento

Índice de eficiencia energética medio	0.17
Clase eficiencia energética	A ⁺
Factor de supervivencia de lámpara a las 6000 h (FSL)	> 0.9
Mantenimiento del flujo luminosos a las 6000 h (FMFL)	> 90

Nº de ciclos de conmutación antes de producirse un fallo	> 15000
Tiempo de encendido	< 0.5 seg
Tiempo de calentamiento de la lámpara hasta el 60% del flujo	< 2 seg
% fallos prematuros pasadas 1000h	Por determinar

La conformidad de los parámetros de la tabla 6.5 viene dada según el anexo 4 del reglamento UE nº 1194-2012. Algunos parámetros están por determinar a la espera de entrega de las piezas de fabricación y del montaje del prototipo, por cuestión de tiempo se prevé que para la presentación oral del proyecto aquí descrito la mayoría de las piezas estén disponibles.

El cálculo del índice de eficiencia energética se refleja en el anexo A7.

6.3. Ensayos

La luminaria debe someterse a tres ensayos principales, el ensayo de estanqueidad frente a la acción de la humedad y el polvo que determina el grado IP, el ensayo de resistencia frente a los impactos que determina el grado IK y el ensayo lumínico para la obtención de la curva fotométrica, necesaria para la realización de proyectos lumínicos mediante el software Dialux.

Por cuestión de tiempo no se ha podido realizar dichos ensayos es por esta razón que algunos valores de las tablas anteriores están por determinar. Sin embargo, para la construcción de la luminaria, es necesaria la realización de otros ensayos descritos en la norma UNE-EN 60598-1.

La conformidad de muchos de estos ensayos se realiza por inspección visual como el caso de los pasos de cable, los bloques de conexión, las conexiones eléctricas y el cableado, la inflamabilidad de los materiales utilizados, los riesgos mecánicos y el marcado de la luminaria.

Otros ensayos siguen un procedimiento descrito en su correspondiente apartado y deberán cumplirse para estar totalmente conforme con esta norma, estos ensayos son los siguientes:

-Tornillos y conexiones mecánicas (apartado 4.12)

- Corrosión (4.18 y anexo F)
- Radiación UV (Anexo P)
- Anclaje de cables (apartado 5.2)
- Disposición de la puesta a tierra (apartado 7.2.3)
- Protección contra los choques eléctricos (anexo A)
- Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica (apartados 10.2.1 y 10.2.2)
- Corrientes de fuga (apartado 13.4)
- Endurancia y calentamiento (sección 12)
- Resistencia al calor e inflamabilidad (apartados 13.2.1 y 13.3.1)
- Conexiones desmontables (apartado 15.5.1)
- Resistencia del cableado (apartado 15.8.1)
- Ensayos eléctricos para cables (apartado 15.9)
- Conformidad durante la fabricación (anexo Q)

6.4. Escandallo

Cada vez que se produce una entrada o salida de cualquier producto o componente la empresa tiene que reflejar todos los movimientos producidos, el sistema ERP es un software encargado de gestionar los datos referentes a la totalidad de la cadena de producción de la empresa, desde la fabricación de un producto, la logística, la distribución, el control de stock, hasta la contabilidad de la organización.

Es por esta razón que en el apartado 6.1 se crearon las referencias indicativas de cada una de las versiones del producto desarrollado. Para reflejar esta producción es necesario introducir en el software todas las partes involucradas en el proceso productivo de cada uno de los modelos referenciados con anterioridad.

A continuación se muestran unas tablas con los datos introducidos en el sistema junto con las referencias internas y la clasificación según la familia a la que pertenece cada artículo. Se remarca la necesidad de referenciar los subprocesos de fabricación para la obtención final de las piezas ya que en caso de cambio de proveedor o de coste es necesario controlarlo.

TABLA 6.7: Escandallo de piezas fabricadas para la familia IDRA

PIEZAS PRODUCTO IDRA						
Ref. interna	Artículo	Precio coste	Uds.	Proveedor	Código familia	Nombre familia
42101101	Carcasa 600 idra	19.72	200	-	421	piezas
42101201	Carcasa 400 idra	14.06	200	-	421	piezas
42201110	tubo carcasa 600 idra	15.21	-	L. Goded	422	semiproductos
42201111	soldadura conjunto 600 idra	1.1	-	Embyreb	422	semiproductos
42201112	conjunto pintado 600 idra	0.9	-	Caypri	422	semiproductos
42201213	tubo carcasa 400 idra	9.95	-	L. Goded	422	semiproductos
42201214	soldadura conjunto 400 idra	1.1	-	Embyreb	422	semiproductos
42201215	conjunto pintado 400 idra	0.5	-	Caypri	422	semiproductos
42201016	tapa carcasa idra	1.26	-	L. Goded	422	semiproductos
42101102	Difusor 600 idra	3.85	200	-	421	piezas
42101202	Difusor 400 idra	2.90	200	-	421	piezas
42201020	tapa difusor idra	0.72	-	Pl. Sant Jordi	422	semiproductos
42201221	tubo difusor 600 idra	3.85	-	Pl. Sant Jordi	422	semiproductos
42201222	tubo difusor 400 idra	1.98	-	Pl. Sant Jordi	422	semiproductos
42201223	soldadura difusor 400 idra	0.2	-	Pl. Sant Jordi	422	semiproductos
42201224	soldadura difusor 600 idra	0.2	-	Pl. Sant Jordi	422	semiproductos

Ref. interna	Artículo	Precio coste	Uds.	Proveedor	Código familia	Nombre familia
42101103	Soporte tira led 600 idra	7.78	200	-	421	piezas
42201130	<i>des. soporte tira 600 idra</i>	5.94	-	L. Goded	422	semiproductos
42201131	<i>doblado soporte tira 600 idra</i>	0.1	-	Embyreb	422	semiproductos
42201132	<i>anodizado soporte tira 600 idra</i>	0.20	-	Embyreb	422	semiproductos
42101203	Soporte tira led 400 idra	4.69	200	-	421	piezas
42201230	<i>desarrollo soporte tira idra</i>	3.72	-	L. Goded	422	semiproductos
42201231	<i>doblado soporte tira idra</i>	0.1	-	Embyreb	422	semiproductos
42201232	<i>anodizado soporte tira idra</i>	0.1	-	Embyreb	422	semiproductos
42101104	Reflector soporte 600 idra	0.79	800	Embyreb	421	piezas
42101204	Reflector soporte 400 idra	0.57	800	Embyreb	421	piezas
42101005	Varilla soporte idra	0.15	1200	Embyreb	421	piezas
42101006	Unión soporte idra	3.65	400	Embyreb	421	piezas
42101007	Soporte driver idra	3.94	200	-	421	piezas
42201070	<i>desarrollo soporte driver idra</i>	3.35	-	L. Goded	422	semiproductos
42201071	<i>doblado soporte driver idra</i>	0.03	-	Embyreb	422	semiproductos
42201072	<i>anodizado soporte driver idra</i>	0.05	-	Embyreb	422	semiproductos
42101008	Pieza base idra	3.36	400	-	421	piezas
42201080	<i>fundición pieza base idra</i>	2.64	-	FG	422	semiproductos
42201081	<i>mecanizado pieza base idra</i>	0.45	-	Embyreb	422	semiproductos
42201082	<i>anodizado pieza base idra</i>	0.27	-	Embyreb	422	semiproductos
42101009	Embelledor base idra	3.08	400	-	421	piezas
42201090	<i>repulsado embellecedor idra</i>	0.8	-	Embyreb	422	semiproductos
42201091	<i>mecanizado embellecedor idra</i>	0.2	-	Embyreb	422	semiproductos
42201092	<i>pintado embellecedor idra</i>	0.2	-	Caypri	422	semiproductos
42201001	Conjunto anclaje idra	12.90	200	Embyreb	422	complementos
42201010	<i>pletina anclaje idra</i>	5.20	-	L. Goded	422	semiproductos
42201011	<i>perno en J anclaje idra</i>	1.55	-	Embyreb	422	semiproductos

TABLA 6.8: Escandallo de componentes necesarios para la familia IDRA

COMPONENTES PRODUCTO IDRA						
Ref. interna	Ref. externa	Artículo	Precio coste	Uds.	Prov.	Familia
44102001	M3X8/D798 5-A2	KRAFTBERG M3X8/D7985-A2 TORNILLO M3 L8 DIN7985	0,0097	4000	TME	441 tornillos
44102002	1235524	BOSSARD B3X6/BN617 TORNILLO M3L6 DIN913	0,0325	800	TME	441 tornillos

Ref. interna	Ref. externa	Artículo	Precio coste	Uds.	Prov.	Familia
44102003	M3X16/D79 85-A2	KRAFTBERG M3X16/D7985-A2 TORNILLO M3 L16 DIN7985	0,0134	800	TME	441 tornillos
44102004	M5X10/D91 2-A2	KRAFTBERG M5X10/D912-A2 TORNILLO M5 L10 DIN912	0,0271	2400	TME	441 tornillos
44201001	M3/BN124	BOSSARD B3/BN124 TUERCA HEXAGONAL M3 DIN 439	0,0096	2400	TME	442 tuercas
44301001	M3/BN781	BOSSARD B3/BN781 ARANDELA M3 DIN 6798A	0,0063	4800	TME	443 arandelas
44301002	1404857	BOSSARD B5/BN1074 ARANDELA PA M5 DIN125	0,0074	100	TME	443 arandelas
44601002	1.609.1200. 30	HUMMEL-1609120030 PRENSAESTOPAS M12 LATÓN	2,0741	400	TME	446 sujetacables
44602001	FIX-GR-58	FIX-GR-58 PASACABLES D9	0,1209	400	TME	446 sujetacables
44603001	KTCC-6	KTCC-6 ABRAZADERA D6	0,0747	400	TME	446 sujetacables
4603002	KTCC-3	KTCC-3 ABRAZADERA D3	0,0736	400	TME	446 sujetacables
44501001	M3.2/AD43 BS/BN3328	BOSSARD B3.2/AD 43 ABS/BN3328	0.1102	400	TME	445 remaches
44401001	90403006	WURTH TACO DE ENCASTRE W-ED L30 ACERO A2	2.47	1600	Wurth	444 tacos
44102004	1075705	BOSSARD B3/BN661 TORNILLO M6 L20 DIN 965A	0.0496	800	TME	441 tornillos
44102005	1413287	BOSSARD B3/BN661 TORNILLO M6 L35 DIN 965A	0.662	800	TME	441 tornillos
44501002	145 5447	TUERCA REMACHABLE M6 Ø9 L 18 A4	0.4	800	Gesipa	445 remaches
44701001	JT06.09.003- D91-S3	TÓRICA SILICONA di91 toro 3	0.11	800	M. Cusell	447 tóricas
43101001	APV-12-24	MW APV-12-24	4.7	400	Olfer	431 drivers
43201001	OMYP2/1.00 -C	TECHNOKABEL OMYP2/1.00-C BLUE&BROWN	0.8	1	TME	432 cables
43301001	28000994	ACL plug connector Wire-PCB 300x9x4.2mm	1.55	400	BJB	433 conectores
43301002	46.413.1414	Terminal blocks pushwire terminals 3 pole 464131214.50	0.211	400	BJB	433 conectores
43301003	48.281.7200	Plug screw fixing PA 6.6 housing 482818200	0.185	800	BJB	433 conectores
43301004	48.281.8200	Socket screw fixing PA 6.6 housing: 482818200	0.185	800	BJB	433 conectores

44501003	28.901.u164	P2F BLACK 2,4-2,7 mm	0.047	7500	BJB	445 remaches
42102001	28001833	LLE FLEX G2 8x4800 8W-1200lm/m 827 ADV	52.08	5	Tridonic	421 módulos
42102002	28001903	LLE FLEX G2 8x4800 8W-1200lm/m 830 ADV	52.08	5	Tridonic	421 módulos
42102003	28001904	LLE FLEX G2 8x4800 7W-1200lm/m 840 ADV	52.08	5	Tridonic	421 módulos
42102004	28001905	LLE FLEX G2 8x4800 7W-1200lm/m 865 ADV	52.08	5	Tridonic	421 módulos
42102005	28001834	LLE FLEX G2 8x4800 12W-1800lm/m 827 ADV	55.4	5	Tridonic	421 módulos
42102006	28001906	LLE FLEX G2 8x4800 12W-1800lm/m 830 ADV	55.4	5	Tridonic	421 módulos
42102007	28001907	LLE FLEX G2 8x4800 11W-1800lm/m 840 ADV	55.4	5	Tridonic	421 módulos
42102008	28001908	LLE FLEX G2 8x4800 11W-1800lm/m 865 ADV	55.4	5	Tridonic	421 módulos

TABLA 6.9: Escandallo de packaging y transporte para la familia IDRA

PACKAGING Y TRANSPORTE PRODUCTO IDRA							
REF. INTERNA	REF. EXTERNA	Artículo	Precio coste	Uds.	Proveedor	Código familia	Nombre familia
48102001	BB1-650x120	Bolsa 1 carcasa 120x650 mm burbujas	0,150	500	DEL RIO	481	envases
48102002	BB1-450x120	Bolsa 1 carcasa 120x450 mm burbujas	0,110	500	DEL RIO	481	envases
48102003	BB4-210x150	Bolsa 2 complementos 210x150 burbujas	0,0471	500	DEL RIO	481	envases
48101004	AA0-500x180	Bolsa 3 luminaria 180x500 transparente	0,022	1000	DEL RIO	481	envases
48101005	AA0-700x180	Bolsa 3 luminaria 180x700 transparente	0,030	1000	DEL RIO	481	envases
48201001	MR5030,02	Bobina relleno protección	0,810	50	DEL RIO	482	rellenos
48301001	tplbx-160x160x450	Caja de cartón ondulado para IDRA 600 160x160x450	2,3	200	DEL RIO	483	cajas
48301002	tplbx-160x160x650	Caja de cartón ondulado para IDRA 600 160x160x650	2,3	200	DEL RIO	483	cajas
48401001	58578-00000	Precinto color marrón	0,013	150	TESA	484	precinto
49201001	-	Recogida inmediata seur	1	1	SEUR	492	transporte

TABLA 6.10: Escandallo de semiproductos para la familia IDRA

SEMIPRODUCTOS PRODUCTO IDRA							
REF. INTERNA	REF. EXTERNA	Artículo	Precio coste	Uds.	Proveedor	Código familia	Nombre familia
47110001	LMA-316L-T0	Tubo Ø104x2 AISI 316L 6m	27.64	34	LUMETAL	471	tubos
47120001	T100-E2PC0	Tubo Ø100x2 PC opal 10m	7.93	47	POLINTER	471	tubos
47110002	LMAI-6060-T0	Tubo Ø10x3 AL6060 6m	2.77	13	LUMETAL	471	tubos
47210001	LMAI-6082-B0	Barra Ø100 AL6082 6m	76.31	3	LUMETAL	472	barras
47210001	LMAI-316L-B0	Barra Ø8 AISI 316L 6m	21.82	20	LUMETAL	472	barras

Al introducir los datos de cada artículo involucrado se facilita y agiliza el control del stock. Los valores dados para la columna de unidades de las tablas se han calculado teniendo en cuenta la necesidad de tener un stock disponible de 200 luminarias para cada modelo para evitar la fractura de stock, también se da el caso para algunos artículos que el número de unidades disponibles viene delimitado por el número de unidades por lote vendidas por el proveedor.

Las partes mecánicas de la tabla 6.7 no requieren de referencia externa ya que son piezas de fabricación propia. En la descripción de los artículos algunos se detallan con el nombre IDRA para realizar una búsqueda rápida dentro del sistema además de ser de uso exclusivo en este producto, los demás componentes son generalmente de uso compartido con otros productos de la empresa a pesar de que en este escandallo solamente se citan los necesarios para IDRA.

Las unidades del precio de coste puede variar según el tipo de artículo, la mayoría de los artículos tienen un precio de coste de euro por unidad y para los artículos como bobinas, semiproductos y tira de led es de euro por metro.

6.5. Diagrama operaciones

En este apartado se detalla todo lo relacionado con el control de las operaciones de fabricación de cada una de las piezas que forman parte de la parte mecánica de la luminaria excluyendo el conjunto anclaje. En la tabla 6.11 se ve el listado de piezas junto con el número de operaciones a realizar y el tiempo de fabricación.

TABLA 6.11: Operaciones y tiempos de fabricación para 20 unidades por pieza (sin restricciones)

	OP1	T1	OP2	T2	OP3	T3	OP4	T4	T _{total}
C1 CARCASA									9
<i>tapa carcasa</i>	corte láser	5							5
<i>tubo carcasa</i>	corte	-	roscar	3					2
conjunto	soldar	1	pintar	3					4
C2 DIFUSOR									4
<i>tubo difusor</i>	mecanizado	-							
<i>tapa difusor</i>	corte láser	-							
conjunto	soldar	4							4
C3 SOPORTE									12
unión sop.	mecanizado	7							7
sop. driver	corte láser	5	doblado	-	anodizar	7			12
sop. tira led	corte láser	5	doblado	-	anodizar	7			12
reflector sop.	corte	-	taladrar	-	doblado	7			7
varilla sop.	roscar	7							7
C4 BASE									14
pieza base	fundición	7	mecanizado	-	anodizar	7			14
embellecedor	corte láser	5	repulsado	-	roscar	3	pintar	3	11

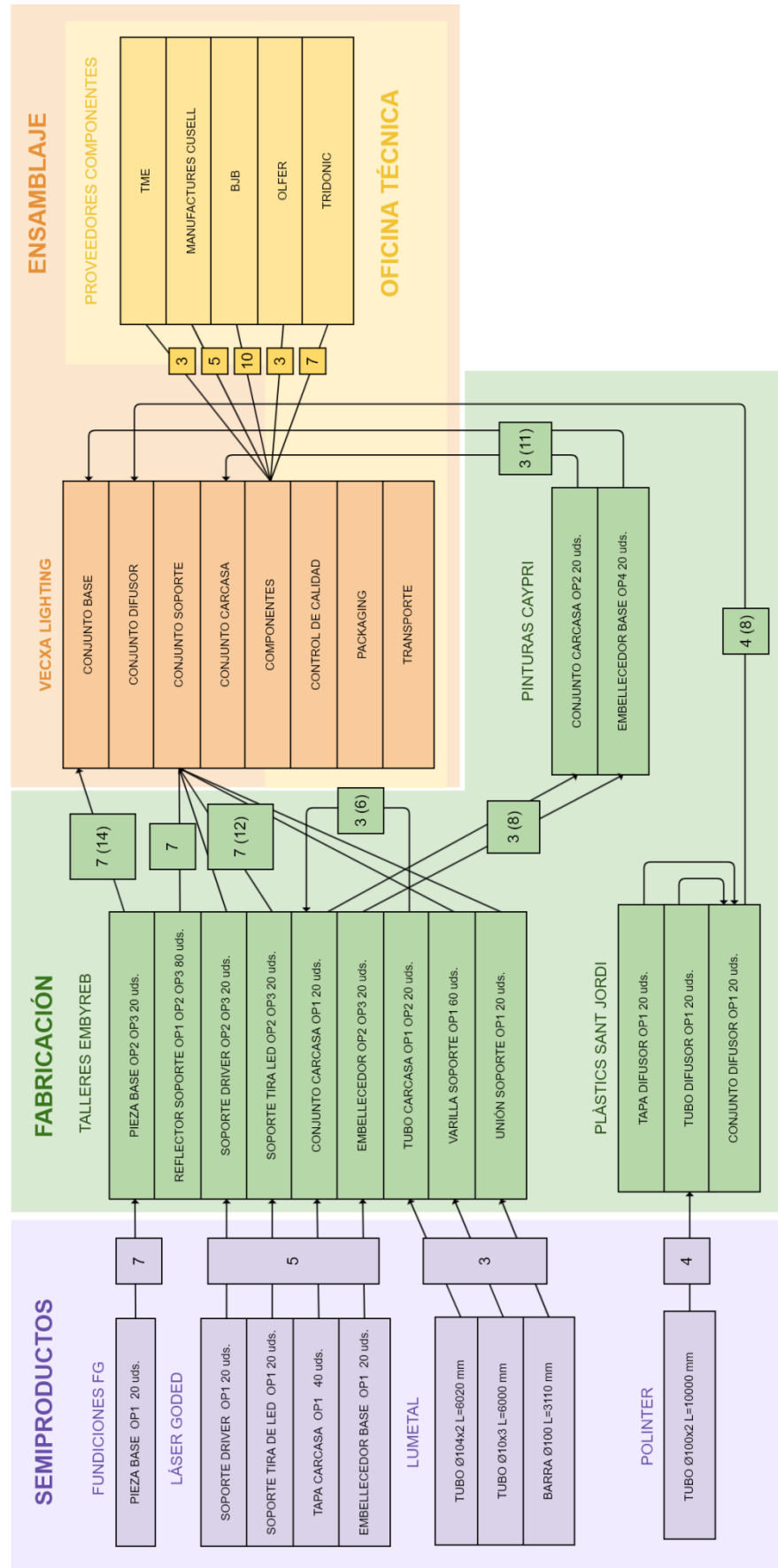
Algunas casillas de tiempos están vacías debido a que se considera incluido en la última operación de pieza, el tiempo de fabricación de la carcasa es la suma del valor máximo de las piezas que lo forman más el tiempo total de ensamblaje. El tiempo total de los conjuntos soporte y base es el valor máximo entre las piezas que lo componen.

Es importante destacar que las unidades de tiempo vienen en días ya que se externaliza la fabricación hacia proveedores especializados en cada campo u operación cosa que hace aumentar los periodos de espera por lo que la planificación de tiempos se convierte en un factor vital para cumplir con los plazos de entrega estipulados con los clientes.

La figura 6.2 muestra el diagrama de flujo donde se aprecian los movimientos y tiempos reales, son reales ya que se tienen en cuenta los tiempos de espera para los suministros y las restricciones como el transporte de piezas entre proveedores, siempre buscando la optimización.

Un ejemplo es el tiempo de fabricación de la carcasa, en la tabla anterior se estima que la soldadura se realiza en un día y el pintado en tres, la pieza embellecedor es otra pieza que necesita pintado y sus operaciones de repulsado y roscado (en el mismo proveedor que el conjunto carcasa) son más largas que las de la carcasa, esto supone una restricción ya que hasta que no finalicen las operaciones del embellecedor no se enviarán las piezas al pintor por tal de optimizar costes en transporte.

Figura 6.1. Diagrama de flujo (Fuente: propia)



6.6. Montaje

En este apartado se explica detalladamente el proceso de montaje de la luminaria. El proceso de ensamblaje de todas las partes se realiza de forma íntegra en las instalaciones de Vecxa, de esta manera se garantiza el control de calidad.

El proceso de montaje se divide en once fases principales, seguidamente de la explicación de las fases se puede ver la secuencia de este proceso a través de un diagrama de bloques junto con las herramientas y los trabajadores implicados en cada fase.

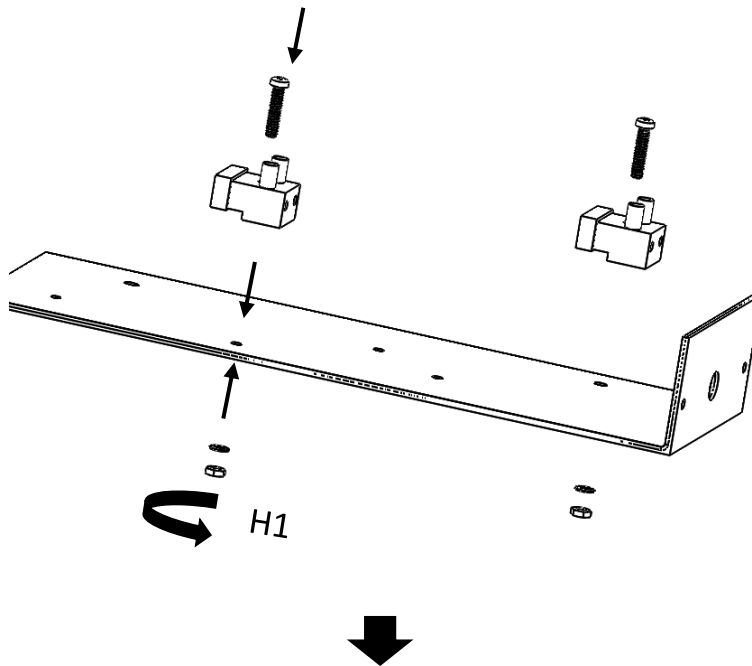
6.6.1. Procedimiento de montaje

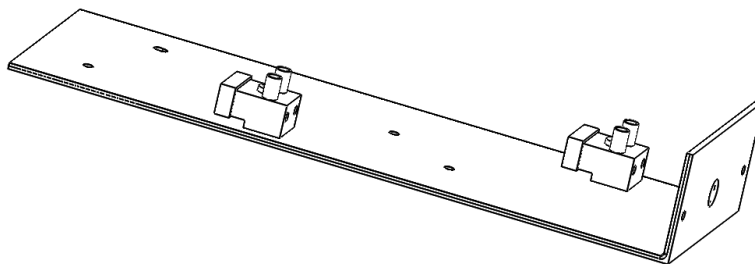
A continuación se detalla el procedimiento seguido para el montaje de los dos modelos de producto ya que siguen exactamente el mismo procedimiento.

Fase 1: Montaje del conjunto soporte driver:

1.1. Montaje conector hembra:

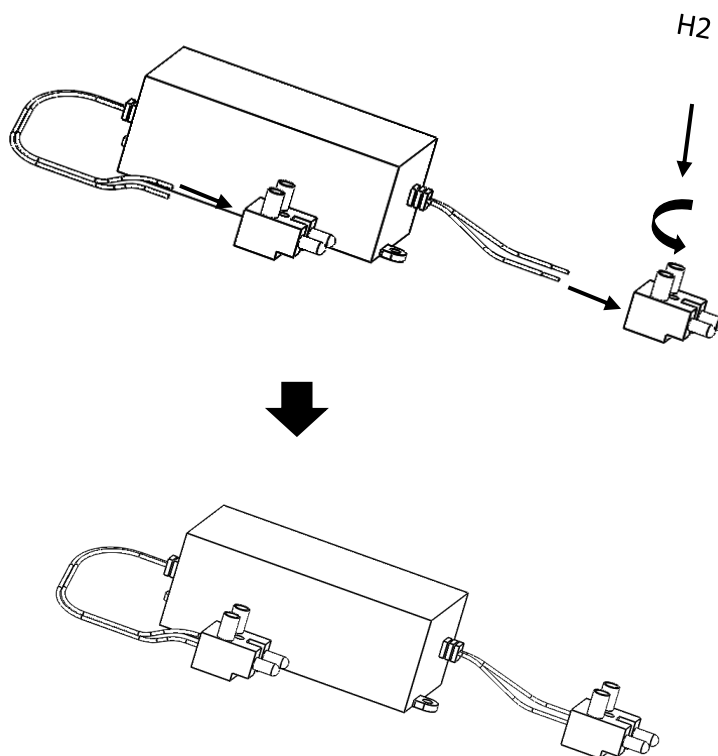
Fijación de los conectores hembra (componente 48.281.8200) en sus orificios correspondientes de la pieza soporte driver mediante dos tornillos (M3x16/D7985-A2), dos arandelas dentadas (M3/BN781) y dos tuercas (M3BN124). Primero se introduce el tornillo y se presiona, por la parte posterior se introduce la arandela y la tuerca. Sin dejar de presionar el tornillo se rosca la tuerca con la ayuda de la herramienta H1.





1.2. Montaje conector macho:

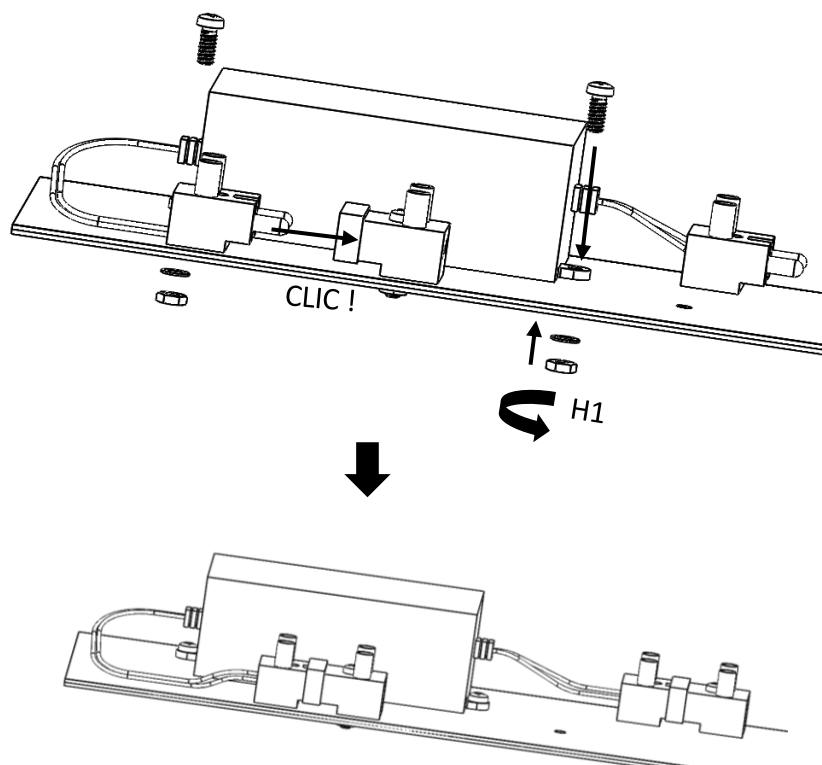
Introducir el cableado entrante y saliente del driver (APV-12-24) en los conectores macho (48.281.7200), vigilar con la torsión de los cables, éstos deben estar completamente rectos y no entrecruzarse. Para su conexión utilizar la herramienta H2, primero se introduce el cable y seguidamente se fija girando el tornillo de apriete del conector. Posteriormente se comprueba la fijación mediante una leve tracción del cable.



1.3. y 1.4. Fijación driver y conexión conectores:

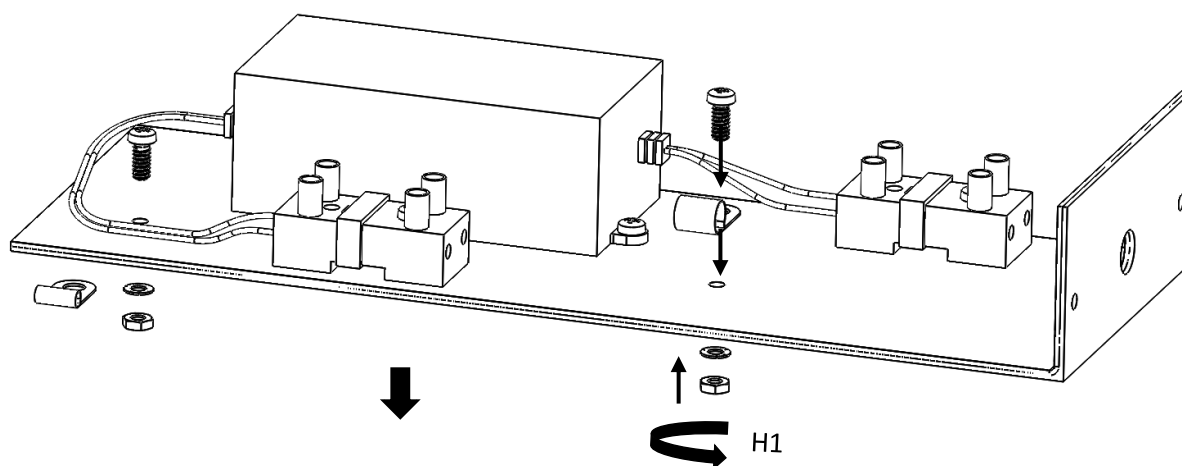
Situar el conjunto obtenido en el paso 1.2 anterior en sus orificios correspondientes de la pieza soporte driver, fijarlo mediante la unión roscada de dos tornillos (M3x8/D7985-A2), dos arandelas dentadas (M3/BN781) y dos tuercas (M3BN124).

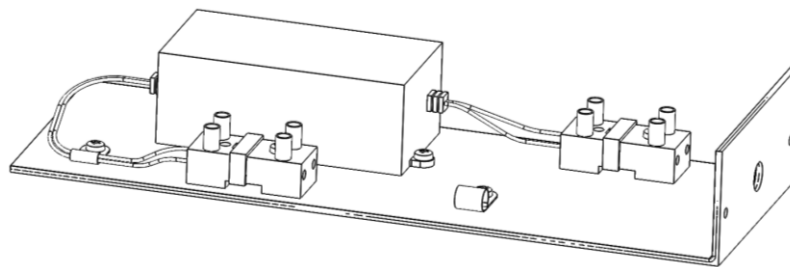
Primero se introduce el tornillo y se presiona, por la parte posterior se introduce la arandela y la tuerca. Sin dejar de presionar el tornillo se rosca la tuerca con la ayuda de la herramienta H1. Seguidamente se introducen los conectores macho en los conectores hembra hasta hacer clic.



1.5. Montaje abrazaderas:

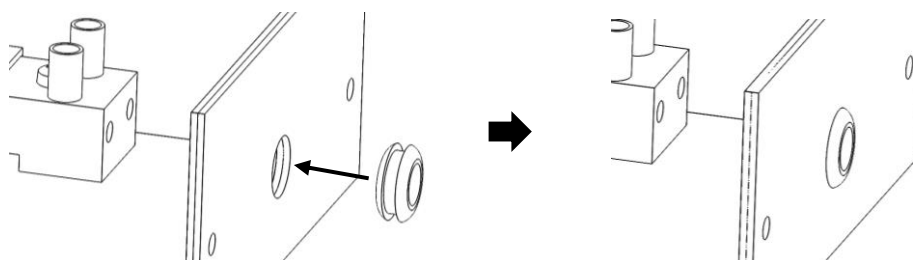
Situar las abrazaderas en su lugar correspondiente. Abrir la arandela KTCC-3 e introducir los cables, la KTCC-6 sólo hay que fijarla, para fijarlas utilizar dos tornillos (M3x8/D7985-A2), dos arandelas dentadas (M3/BN781) y dos tuercas (M3BN124) siguiendo el mismo procedimiento usado anteriormente.





1.6. Montaje pasacables:

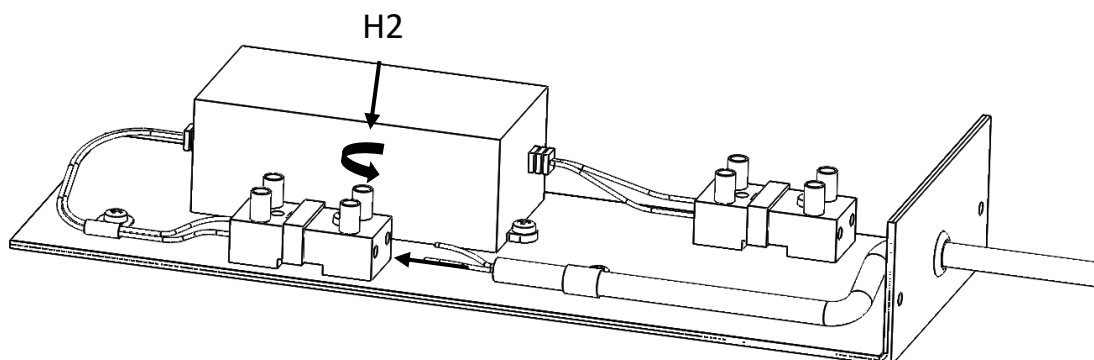
Introducir el pasacables (FIX-GR-58) en su orificio, comprobar que está completamente fijo.

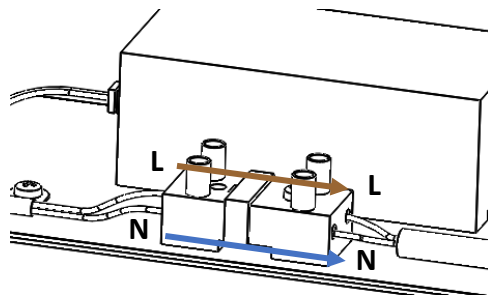


1.7. Conexión cable:

Introducir el cable (OMYP2/1.00-C) a través del pasacables y seguidamente por la abrazadera KTCC-6, tener especial cuidado de no sacar el pasacables. Fijar los terminales azul y marrón en su lugar correspondiente del conector hembra y siguiendo el mismo método que en el paso 1.2.

El cable marrón es la línea (L) y el azul el neutro (N), éstos han de coincidir con la línea y el neutro del conector macho.

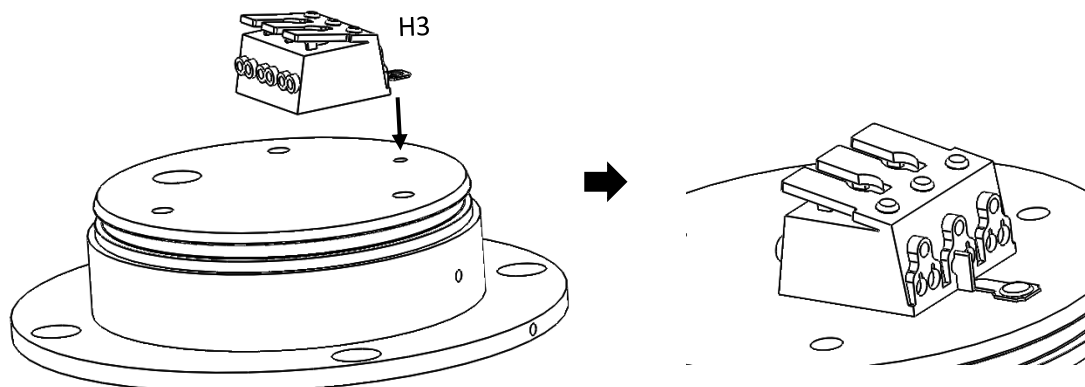




Fase 2: Montaje del cuerpo interior

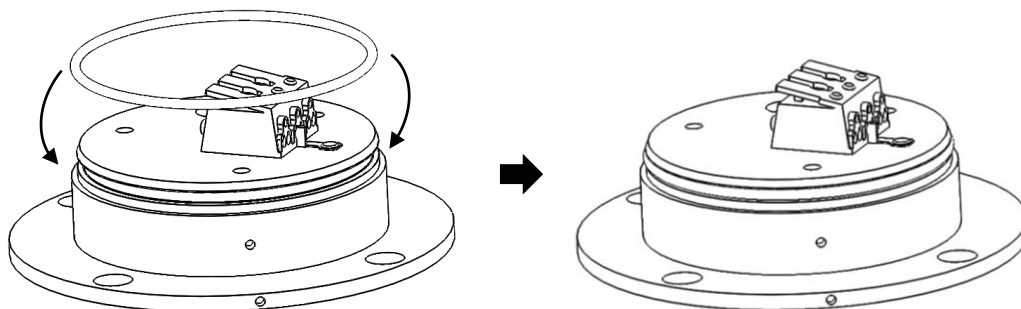
2.1. Fijación regleta de conexión:

Fijación de la regleta (46.413.1214) mediante el remache de aluminio (M3.2/AD 43 ABS7BN3328) con la ayuda de la máquina remachadora (herramienta H3). Situar el orificio de la puesta a tierra de la regleta en su orificio correspondiente de la pieza base y remachar.



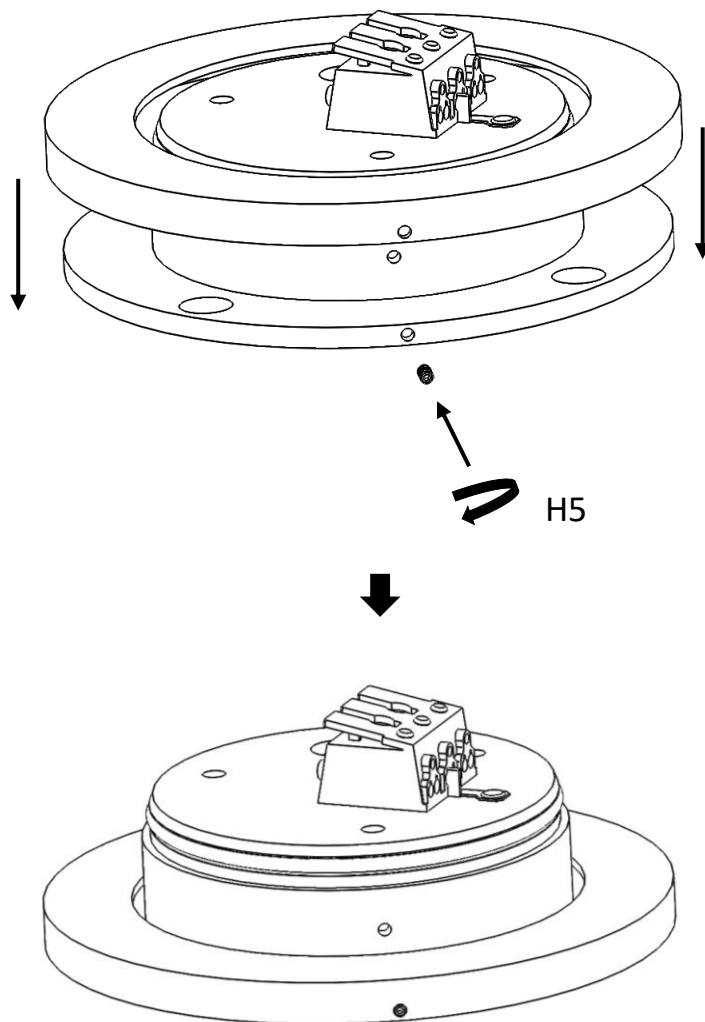
2.2. Colocación de la junta tórica:

Colocar la junta tórica (JT06.09.003-D91S3) en la ranura de la pieza base. Vigilar que la junta no esté torsionada, para su colocación es recomendable colocarla primero en un lado, presionar para que no se salga y estirar para la colocación completa.



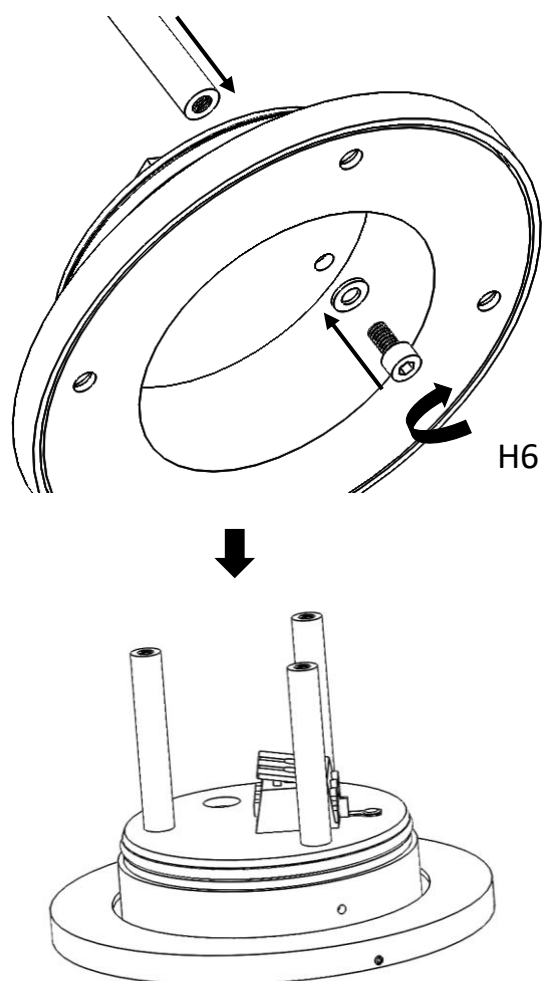
2.3. Fijación del embellecedor:

Colocar la pieza embellecedor en su lugar correspondiente con la ayuda de un tornillo (1235524) y la herramienta H5, roscar el tornillo en el orificio roscado del embellecedor y de la pieza base.



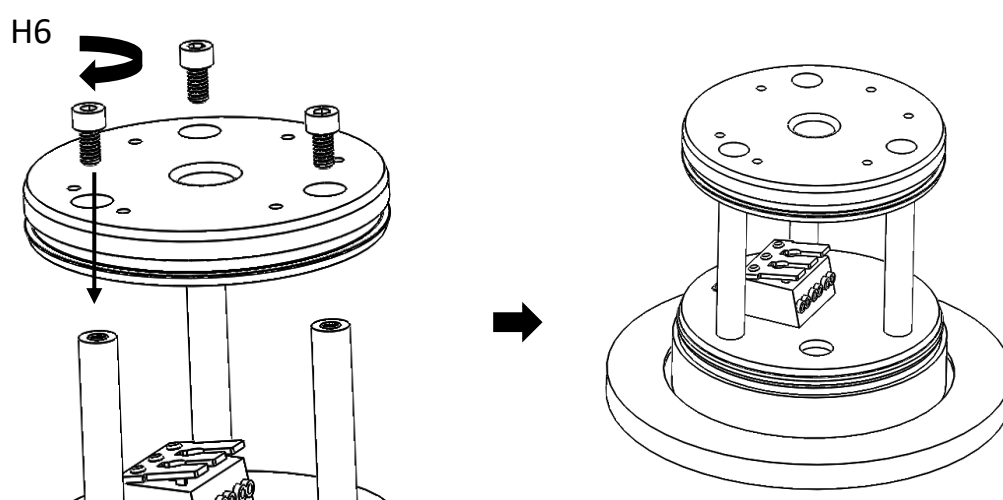
2.4. Fijación de las varillas:

Colocar las varillas en sus orificios del conjunto base mediante la unión roscada de la pieza con tres tornillos (M5x10/D912-A2), utilizar también tres arandelas para estanqueidad (1404857). Primero se coloca la arandela en el tornillo, seguidamente se centra la varilla y posteriormente se realiza la unión con la ayuda de la herramienta H6.



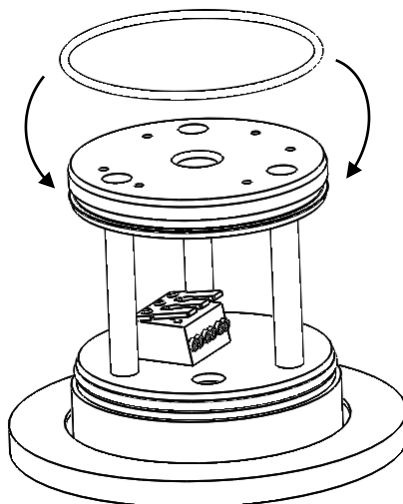
2.5. Fijación de la pieza unión soporte:

Fijar la pieza unión soporte al conjunto anterior con tres tornillos del mismo tipo que los anteriores. Primero se centra la pieza haciendo coincidir los agujeros e introducimos y se roscan los tornillos con la ayuda de la herramienta H6.



2.6. Colocación de la junta tórica 2:

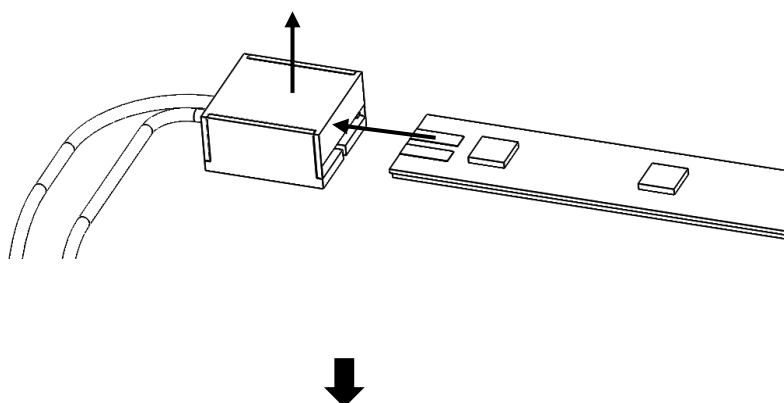
Colocar la junta tórica (JT06.09.003-D91S3) en la ranura del conjunto anterior. Vigilar que la junta no esté torsionada, para su colocación es recomendable colocarla primero por un lado, presionar para que no se salga y estirar para su colocación completa.

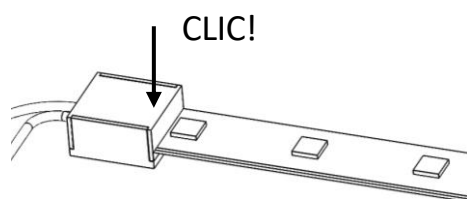


Fase 3: Montaje de la tira led

3.1. Montaje del clip de conexión:

Abrir la pestaña del clip (28000994) y colocar la tira de led (LLE FLEX G2) centrada dentro del conector de manera que toda la parte del ánodo y del cátodo de la tira quede dentro, cerrar el conector. Comprobar que la tira está fijada traccionando levemente el conector de clip.

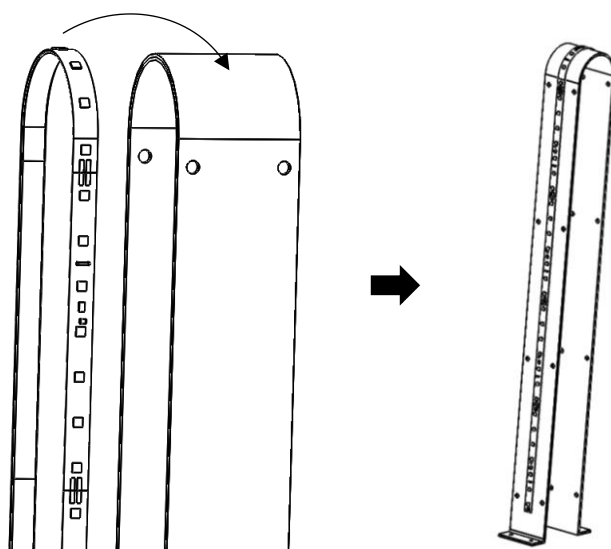




3.2. Colocación tira de led:

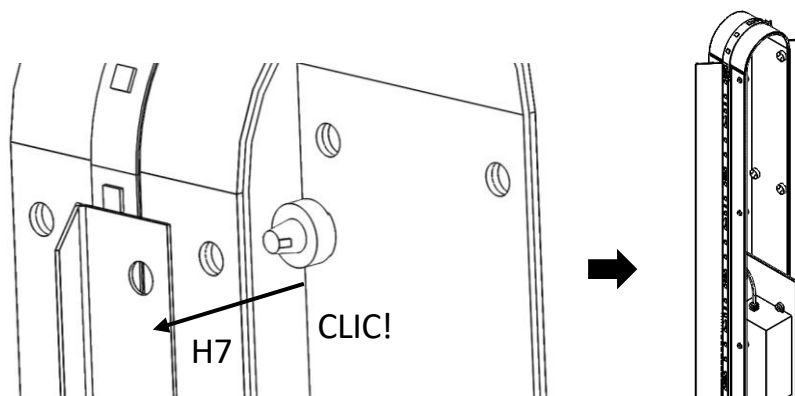
Colocar la tira de led de manera que ésta quede totalmente centrada, tanto en anchura como en longitud de tira. En la preparación del material de montaje se realizan unas marcas en la pieza soporte tira de led para facilitar su colocación.

Se recomienda situarla previamente y quitar la cinta plástica lentamente a medida que se va pegando en el soporte.



3.3. Montaje reflectores:

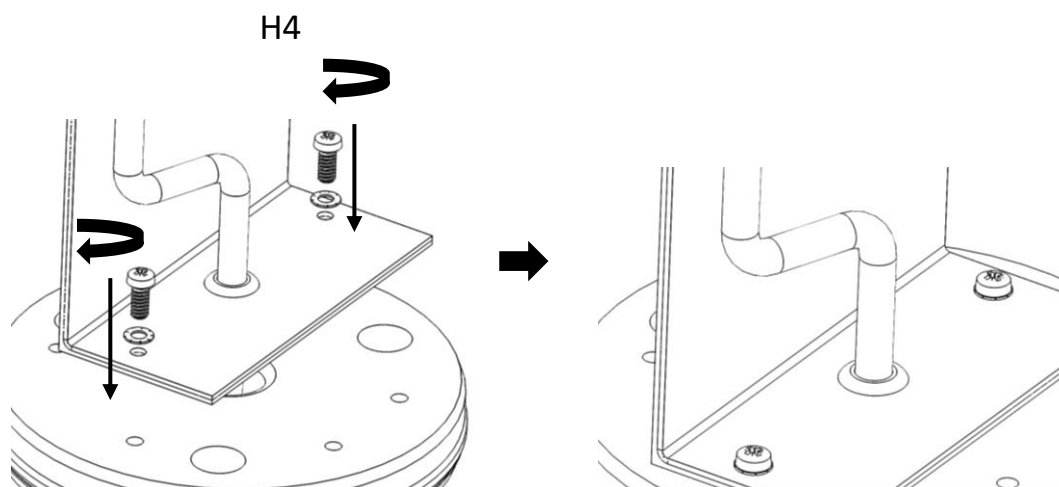
Situat los cuatro orificios para la fijación del reflector y posicionar el reflector. Una vez situado fijarlos mediante los clips de fijación (28.901.U164) en la dirección mostrada en la figura hasta que haga clic, utilizar 12 para el modelo de 400 o 16 para el de 600.



Fase 4: Ensamblaje partes

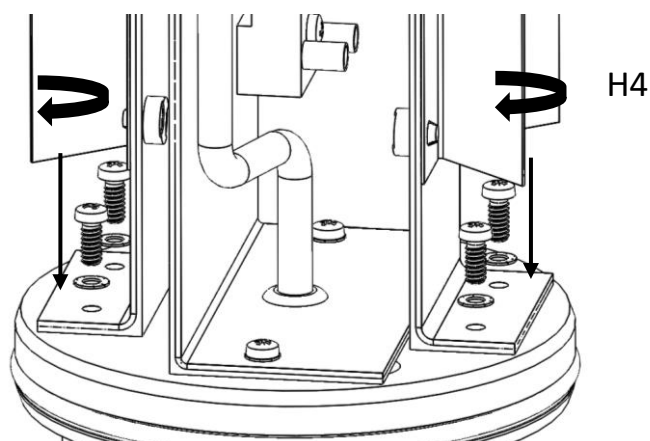
4.1. Fijación soporte driver con pieza unión:

Situar los dos orificios con una separación mayor entre ellos, realizar la unión mediante dos tornillos (M3x8/D7985-A2) y dos arandelas dentadas (M3/BN781). Primero colocar el ensamblaje soporte driver obtenido en la fase 1, situar y colocar la arandela y roscar el tornillo con la ayuda de la herramienta H4.



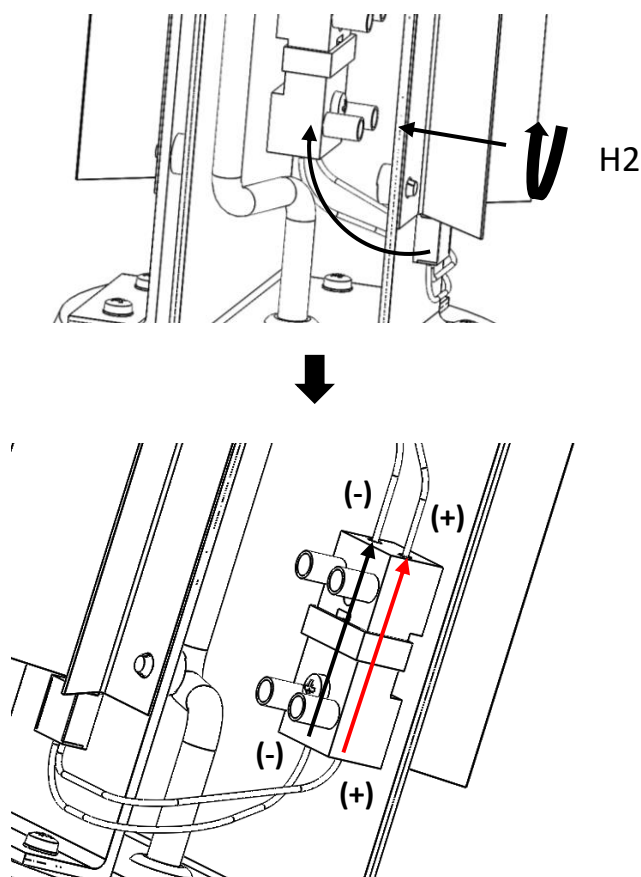
4.2. Fijación soporte tira de led con pieza unión:

Situar los cuatro orificios para la colocación del ensamblaje obtenido en el paso 3.3, realizar la fijación del conjunto con cuatro tornillos (M3x8/D7985-A2) y cuatro arandelas dentadas (M3/BN781) sin importar la orientación. Primero se sitúa el ensamblaje en su lugar pertinente, seguidamente se coloca la arandela y se rosca el tornillo con la ayuda de la herramienta H4.



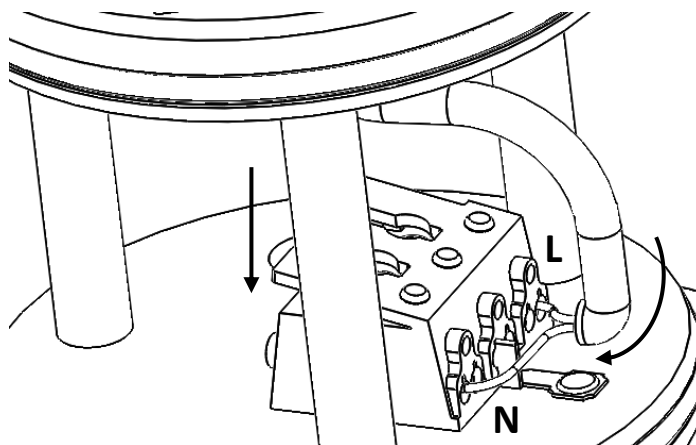
4.3. Conexión cables clip:

Conectar los cables rojo y negro del clip de conexión montado en la fase 3.1 en el conector hembra del conjunto soporte driver. Para ello utilizar la herramienta H2, primero introducir el cable en el orificio correspondiente y apretar roscando el tornillo de apriete del conector. Comprobar que el polo positivo (cable rojo) conecta con el positivo proveniente del driver y el polo negativo (cable negro) conecta con el negativo del driver.

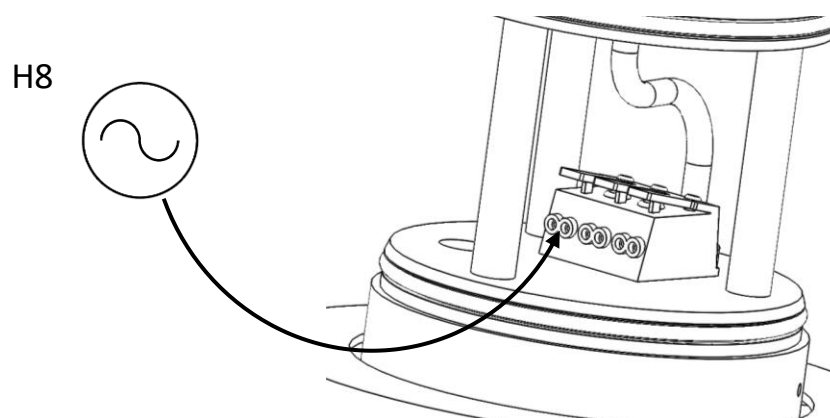


Fase 5: Conexión cable soporte con regleta de conexión

Conectar los terminales del cable del conjunto soporte en su lugar correspondiente en la regleta de conexión. El terminal de línea del cable irá conectado en el orificio de conexión de línea de la regleta y el neutro del cable irá en el neutro de la regleta, para fijarlos primero presionar en la pestaña de la regleta, seguidamente se introduce el cable y finalmente se deja de ejercer presión. Comprobar la sujeción del cable mediante un leve tirón.

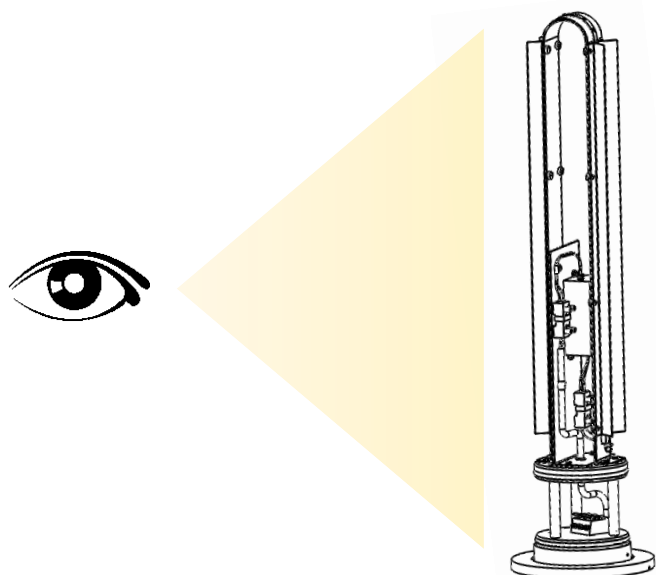
Fase 6: Control de funcionamiento

Para comprobar el funcionamiento de la luminaria introducir el enchufe de prueba (herramienta H8) en la entrada de la regleta de conexión, recordar que la línea de alimentación va con la línea de la regleta y el neutro de la regleta con el neutro de la línea. Si no funciona apartar el conjunto para una revisión posterior.



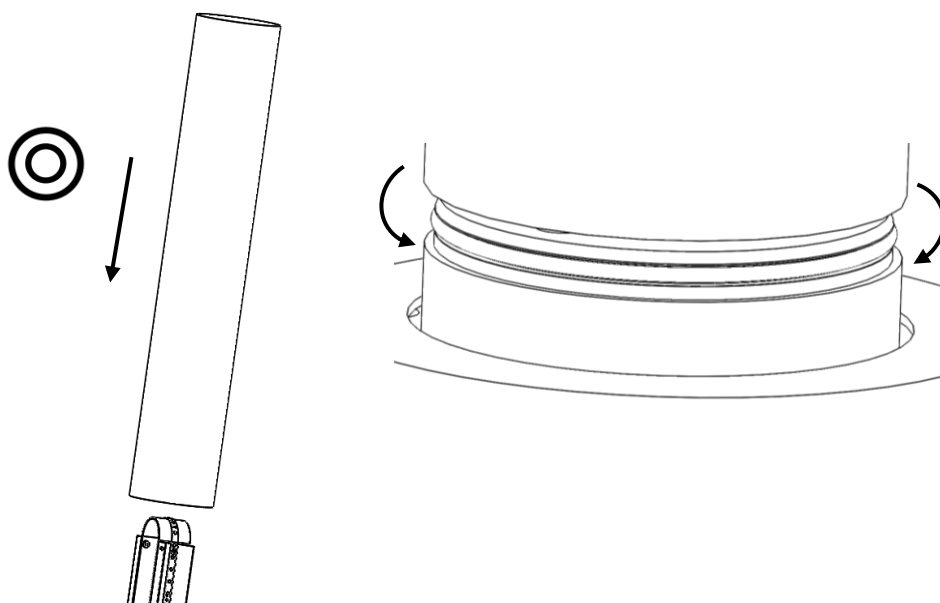
Fase 7: Inspección visual

Para el control visual se inspeccionan las uniones atornilladas, las conexiones de los cables, las torsiones en las juntas tóricas y la sujeción de los reflectores.



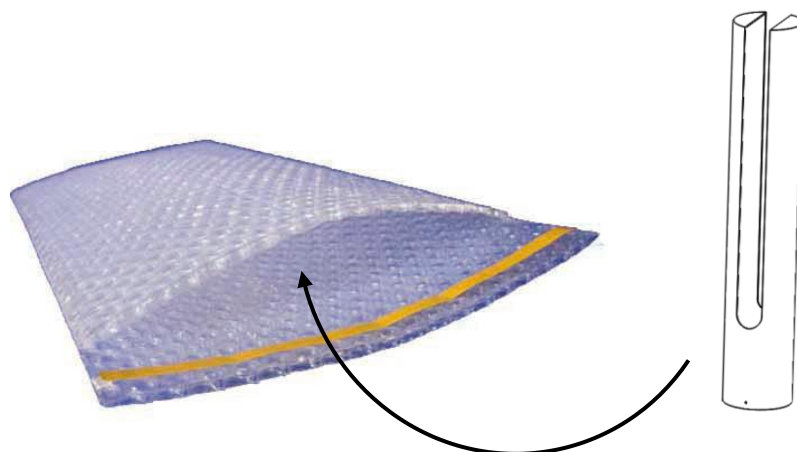
Fase 8: Montaje difusor

Encajar el difusor lentamente con cuidado de no tocar ningún led, presionar hasta que haga tope con la pieza base.

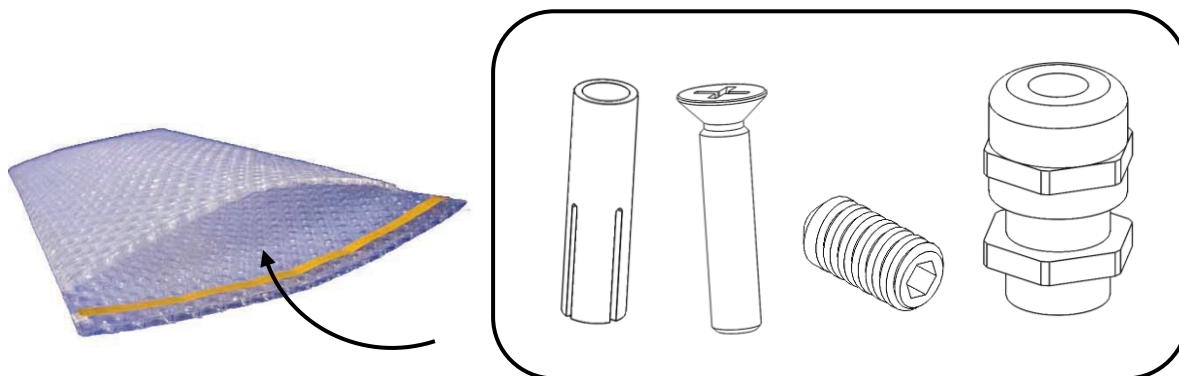


Fase 9: Packaging PACK 1

Introducir la pieza carcasa en su bolsa correspondiente (con referencia interna 48102001 y 48102002 según el modelo), se suministra por separado para facilitar la instalación posterior de la luminaria. Cerrar bien el envase con la cinta adhesiva.

Fase 10: Packaging PACK 2

El prensaestopas (1.609.1200.30), el tornillo para fijar la carcasa (1235524), los tacos de fijación al suelo (90403006) y los tornillos para el anclaje (1413287) se suministran en un envase aparte (referencia interna 48102003).

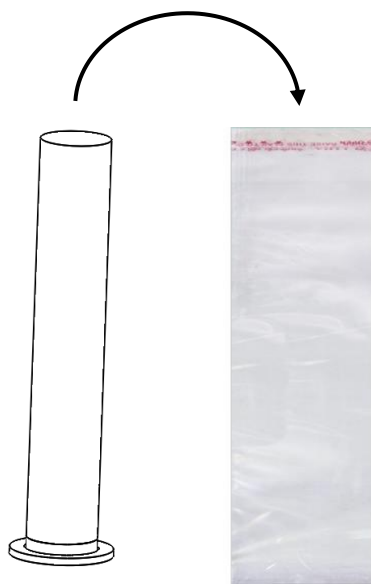


Si la luminaria que se está montando va fijada con el conjunto anclaje se eliminarán los tacos y se cambiarán los tornillos anteriores por unos más largos (1075705).

Fase 11: Packaging PACK 3

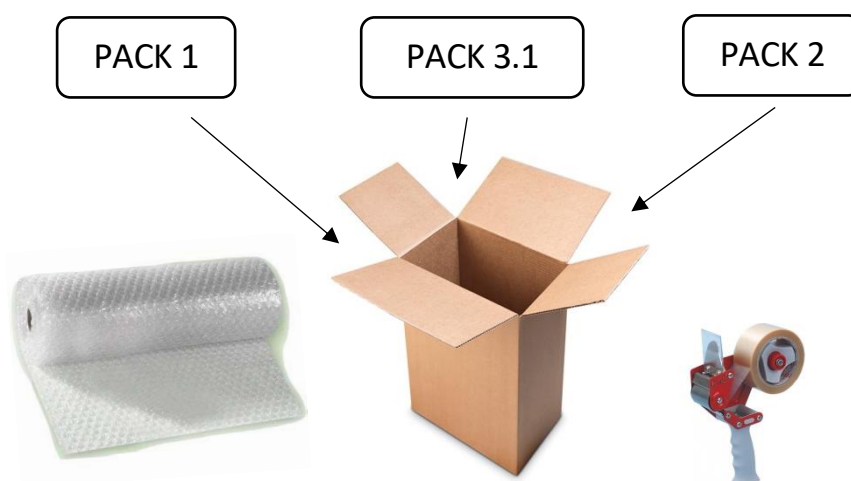
11.1. Packaging PACK 3.1

Introducir la luminaria obtenida en la fase 8 en su bolsa (referencia interna 48101004 o 48101005 según el modelo).



11.2. Unión de packs

Unión del PACK 1, PACK 2 y PACK 3.1 en la caja de cartón ondulado (referencia interna 48301001 o 48301002 según el modelo). Primero introducir el pack 3.1 de manera que la base quede en la parte inferior de la caja, seguidamente rellenar la caja con material de relleno de burbujas. Introducir el pack 1 y el pack 3 y volver a rellenar la caja hasta que el embalaje esté asegurado. Por último cerrar la caja y precintar dos veces con la ayuda de la herramienta H9.



6.6.2. Optimización del montaje

Todo lo relativo a optimizar tiempo supone un ahorro económico, la tabla 6.13 muestra la duración de cada fase. El tiempo está fijado por lo que no se puede acelerar la fase sino que hay que buscar una manera de trabajar simultáneamente entre las fases, la realidad es que el montaje por producto no sale es más barato porque el tiempo trabajado es el mismo pero sí que se produce un aumento en la productividad.

En la figura 6.2 se muestra el diagrama de optimización del montaje diseñado para tres operarios trabajando conjuntamente. Además se puede ver cómo finalmente la luminaria se produce en 400 segundos, reduciendo en 5 minutos el tiempo de un montaje totalmente lineal. El diagrama adjunto corresponde al montaje del modelo IDRA 600, para IDRA 400 el tiempo es ligeramente inferior y sigue el mismo esquema.

En el proceso de montaje existen otros factores a tener en cuenta cómo el uso de las herramientas específicas y el recorrido de fases para los operarios, todo ello incluido en el diagrama de optimización. Además la tabla 6.12 muestra las herramientas a utilizar y la tabla 6.13 el recorrido de los operarios.

TABLA 6.12: Herramientas utilizadas para el montaje

Herramienta	Descripción	Ref.
H1	Destornillador eléctrico portátil con punta para tuercas M3	Tacklife SDP50DC
H2	Destornillador manual con punta plana 2.5x50 mm	Stanley STA06506
H3	Máquina remachadora	Yato YT-3612
H4	Destornillador eléctrico portátil con punta PH para M3	Tacklife SDP50DC
H5	Destornillador eléctrico portátil con punta Allen para M3	Tacklife SDP50DC
H6	Destornillador eléctrico portátil con punta Allen para M5	Tacklife SDP50DC
H7	Herramienta presión P2F	28.901.P164
H8	Cable alargador con enchufe de prueba	251.334.545
H9	Dispensador de precinto FIXO	Macro paper 270

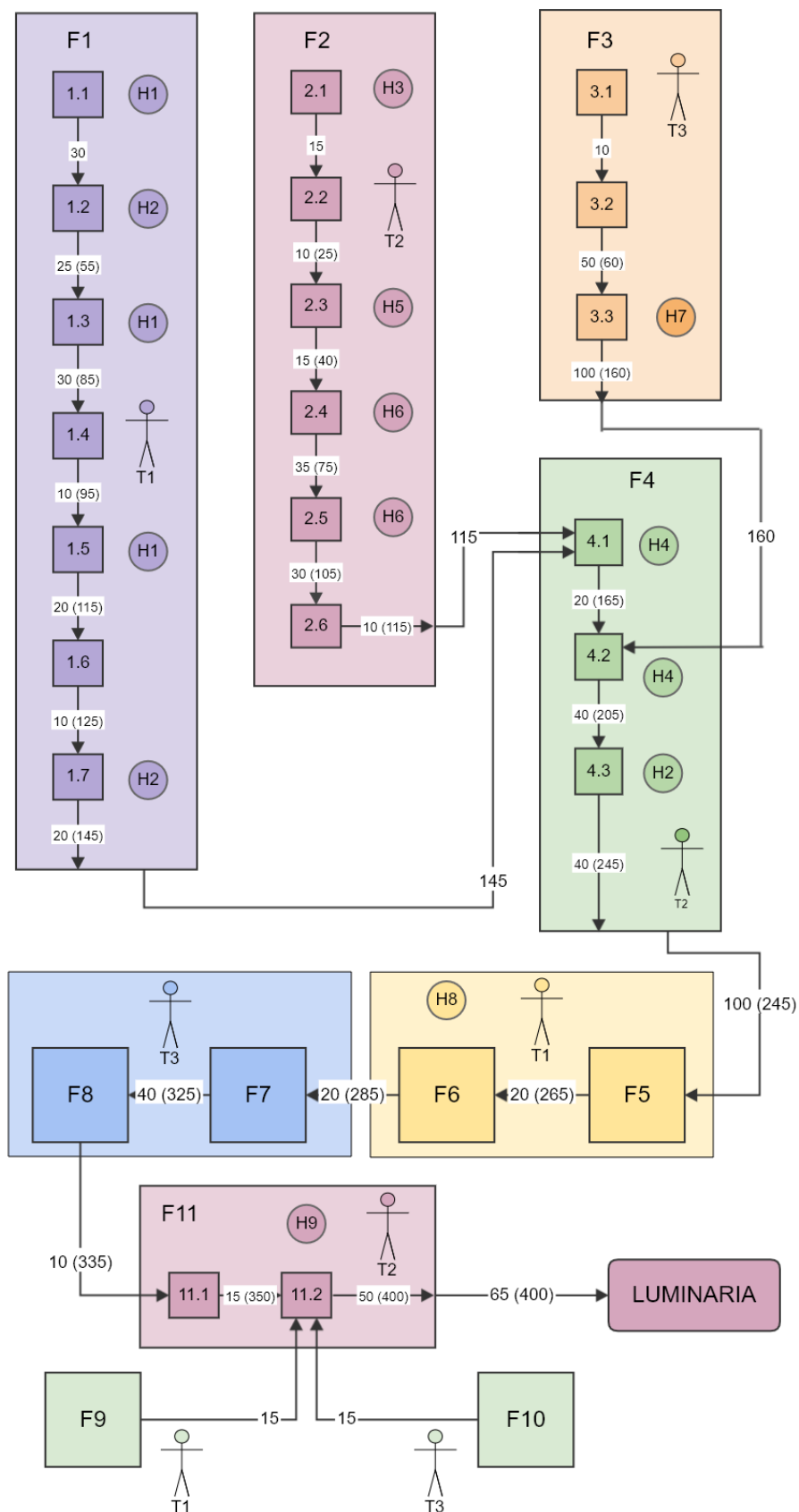
TABLA 6.13: Relación trabajador y fase junto con el tiempo trabajado

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	T _{total}
T1	145				20	20			15			200
T2		115		100							65	280
T3			160				40	10		15		225

TABLA 6.14: Fases de montaje con duración, trabajador y herramientas necesarias

Fase	Descripción	Seg"	Trabajador	Herramientas
1	Montaje conjunto soporte driver	145	T1	
1.1	Montaje conector hembra	30		H1
1.2	Montaje conector macho	25		H2
1.3	Montaje driver	30		H1
1.4	Conexión conectores	10		
1.5	Montaje abrazaderas	20		H1
1.6	Montaje pasacables	10		
1.7	Conexión cable 2x1 marrón/azul	20		H2
2	Montaje conjunto base	115	T2	
2.1	Fijación regleta de conexión	15		H3
2.2	Colocación tórica 1	10		
2.3	Fijación del embellecedor	15		H5
2.4	Fijación de las varillas	35		H6
2.5	Fijación de la pieza unión soporte	30		H6
2.6	Colocación tórica 2	10		
3	Montaje conjunto soporte	160	T3	
3.1	Montaje clip de conexión	10		
3.2	Colocación tira de led	50		
3.3	Montaje reflectores	100		H7
4	Unión conjuntos de montaje	100	T2	
4.1	Fijación soporte driver con pieza unión	20		H4
4.2	Fijación soporte tira con pieza unión	40		H4
4.3	Conexión cables clip	40		H2
5	Conexión cable soporte con regleta	20	T1	
6	Control de funcionamiento	20	T1	H8
7	Inspección visual	40	T3	
8	Montaje difusor	10	T2	
9	Packaging PACK 1	15	T1	
10	Packaging PACK 2	15	T3	
11	Packaging PACK 3	65	T2	
11.1	Packaging PACK 3.1	15		
11.2	Unión de packs	50		H9

El diseño aquí descrito es el que seguiría un solo producto, para una producción en serie los tiempos se multiplicarían por el número de unidades de montaje. Otra consideración importante es el lay-out o la preparación de las zona de montaje antes de empezar a producir, no se desarrolla extensamente ya que simplemente es poner cada pieza o componente en su zona correspondiente además de cortar los cables y los módulos flexibles, tan solo se cita ya que se imputa en los presupuestos.

Figura 6.2. Diagrama de optimización de montaje (Fuente: propia)

6.7. Mejoras

Se puede considerar el diseño como un primer paso en el desarrollo de un producto, durante la extensión de este proyecto se ha podido comprobar la dificultad implícita en el diseño por ser un proceso minucioso de interconexión de numerosos factores.

Una vez se tiene el diseño inicial se pasa a la fase de validación dónde se construye un prototipo y se realizan los ensayos pertinentes. Antes de llegar a esta fase existe un proceso intermedio dónde se realizan las simulaciones necesarias con softwares especializados o programas CAE más adecuados en función del producto a desarrollar.

Esta fase de simulación está muy presente hoy en día ya que ha permitido un gran avance en cuanto a la reducción de tiempos y costes. Además se puede considerar como una etapa de validación previa ya que es aquí donde empiezan a aparecer algunos errores u aspectos no tenidos antes en cuenta, evitando la realización de prototipos muy costosos de ante mano.

Una vez hecha la prevalidación se fabrica el prototipo, de gran ayuda para detectar cantidad de fallos imposibles de ver mediante simulaciones como por ejemplo que un producto se pueda montar bien, ajustes reales de cotas, el funcionamiento del led, gestión térmica real y los lúmenes producidos, entre otros.

Una vez validadas estas consideraciones y cuando el diseño está en una fase más avanzada es cuando se llevan a cabo los ensayos pertinentes, para este producto serian ensayos como el de estanqueidad, el de resistencia frente a los impactos y el lumínico, siguiendo este orden.

El diagrama 6.3 figura este procedimiento dónde cada vez que se detecta un fallo se vuelve al inicio de diseño para encontrar el error y modificarlo, este proceso se denomina reingeniería. Una vez el producto queda totalmente validado ya puede pasar a la siguiente fase, la fabricación.

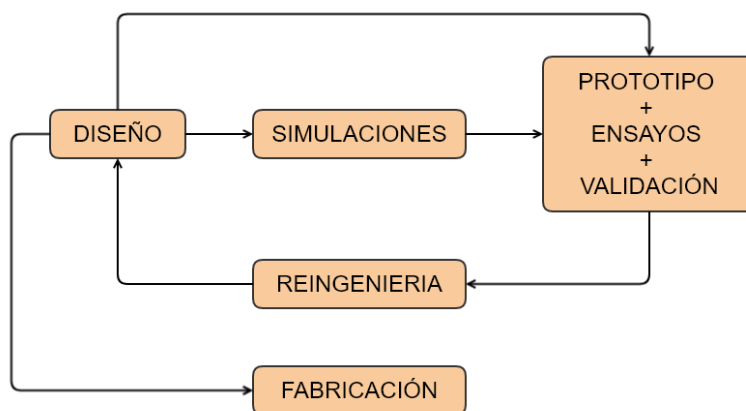


Figura 6.3. Proceso de diseño (propia)

Aplicado al presente proyecto, en el capítulo 5 se desarrolló un primer diseño, en el punto 5.5 se vieron los resultados obtenidos en las simulaciones térmicas y de resistencia y se concluyó que eran satisfactorias, ahora el siguiente paso es la creación de un prototipo.

Por insuficiencia de tiempo no se ha podido construir el prototipo a fecha de entrega de este documento, se estima que para la presentación sea probable tener casi la totalidad de las piezas. No será hasta entonces cuando se detecten los fallos dimensionales o de montaje producidos ya que es casi imposible la realización de un diseño inicial que cumpla con las expectativas finales.

Sin embargo, a medida que se ha desarrollado este trabajo, se detectaron posibles mejoras en cuanto al diseño de algunas piezas. Es el caso de la pieza embellecedor de la cual se modifica tanto el material como el proceso de fabricación. La fabricación por embutición resultaba el proceso más adecuado pero igualmente costoso dónde no se podía obtener una arista completamente recta sino que aparecería el radio de embutición. Es por este motivo que se decide utilizar un proceso no tenido en cuenta hasta ahora, el repulsado.

Los moldes de repulsado para piezas de acero son moldes metálicos de alta resistencia por lo que también son costosos, si se cambia el material por aluminio es posible utilizar un molde de madera cosa que reduciría drásticamente el precio. Consultando con el pintor se asegura que el acabado con pintura es exactamente el mismo para el aluminio que para el acero por lo que se garantiza un acabado homogéneo de la parte visible de la luminaria.

Por otro lado tenemos la pieza base que parte de una fundición de aluminio. En un principio se quiso evitar o reducir todo lo que conllevase moldes pero resultó ser lo más adecuado para la pieza base, ahora bien, ya que se hace una fundición se puede tratar de unificar piezas como las del conjunto soporte.

Quizá por la geometría final de la unión entre la pieza base, las varillas soporte y la pieza unión, incremente la complejidad y el coste de moldeo y no se pueda llevar a cabo pero, la consideración de optimizar el diseño en cuanto a número de piezas, junto con el de componentes, es interesante ya que reduciría mucho los costes de construcción de la luminaria.

7. DIRECTIVAS Y REGLAMENTOS

Para poder comercializar con cualquier producto éste tiene que regularse mediante unas directivas y reglamentos impuestos por la Unión Europea. En el caso del producto desarrollado las directivas a cumplir por obligatoriedad son las siguientes.

-Directiva de bajo voltaje 2014/35/UE (LVD):

Para asegurar que el material eléctrico cumpla los requisitos que proporcionan un elevado nivel de protección de la salud y la seguridad de las personas, animales y los bienes. Y garantizar al mismo tiempo el funcionamiento del mercado interior.

-Directiva de compatibilidad electromagnética 2014/30/UE (EMC):

Se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos para garantizar el funcionamiento del mercado interior exigiendo que los equipos cumplan un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética.

-Directiva RoHS 2011/65/EC:

En esta directiva se restringe el uso de materiales peligrosos en la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos.

-Directiva eRp 2009/125/EC, Ecodiseño:

Dispone el establecimiento de requisitos que los productos relacionados con la energía, cubiertos por las medidas de ejecución, deberán cumplir para poder ser introducidos en el mercado o puestos en servicio. Contribuye al desarrollo sostenible incrementando la eficiencia energética y el nivel de protección del medio ambiente, al tiempo que incrementa la seguridad del abastecimiento energético.

-Mercado CE:

Los requisitos para poder homologar una luminaria CE son varios, entre ellos está la seguridad (LVD), compatibilidad electromagnética (CEM), RoHS y el Ecodiseño.

-Reglamento (UE) Nº 2015/1428, 25 de agosto de 2015:

Reglamento que modifica el reglamento (UE) nº1194/2012, de 12 de diciembre, relativo a los requisitos de diseño ecológicos aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y a sus equipos.

-Directiva 2010/30/UE, relativa al etiquetado energético:

La presente directiva establece un marco para la armonización de las medidas nacionales relativas a la información al usuario final, en especial por medio del etiquetado y la información normalizada sobre el consumo de energía y, cuando corresponda, otros recursos esenciales por parte de los productos relacionados con la energía durante su utilización, así como otra información complementaria, de manera que los usuarios finales puedan elegir productos más eficientes.

-Reglamento (UE) nº 874/2012, relativo al etiquetado energético :

Este reglamento complementa la directiva anterior. Podremos encontrar todas las instrucciones relacionadas con el etiquetado, clases de eficiencia energética y los cálculos para IEE y consumo energético.

-Directiva 2001/95/CE, relativa a la seguridad de los productos:

El objetivo de la presente Directiva es garantizar que los productos que se pongan en el mercado sean seguros. Esta directiva explica los procedimientos sobre conformidades, cumplimientos de seguridad y cómo funciona el sistema en sí.

-CTE-DB-HE-3, Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación:

Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

-CTE-DB-SUA-4, Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada:

En él se limitará el riesgo de daños a las personas como consecuencia de una iluminación inadecuada en zonas de circulación de los edificios, tanto interiores como exteriores, incluso en caso de emergencia o de fallo del alumbrado normal.

8. NORMATIVA

Para cumplir con las regulaciones anteriores existen unas normas de ámbito nacional para la ayuda la conformidad, no son de obligatoriedad pero si son recomendaciones útiles.

-UNE-EN 61000-3-2, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase).

-UNE-EN 61000-3-3, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-3: Límites. Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente asignada ≤ 16 A por fase y no sujetos a una conexión condicional.

-UNE-EN 55015, límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.

-UNE-EN 61547, equipos para iluminación para uso general. Requisitos relativos a la inmunidad CEM.

-UNE-EN 60598-1, requisitos generales y ensayos para luminarias.

-UNE-EN 60598-2-1, luminarias fijas de uso general.

-UNE-EN 62493, evaluación de los equipos de alumbrado en relación a la exposición humana a los campos electromagnéticos.

-UNE-EN 62471, seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas.

-UNE-EN 50581, technical documentation for the assessment of electrical and electronic products with respect to the restriction of hazardous substances.

9. Análisis del impacto ambiental

El análisis del impacto ambiental del producto se basa en el cumplimiento del reglamento de Ecodiseño dónde se adopta una visión integradora de la relación existente entre los productos, el servicio que proporcionan y el medio ambiente.

Para ello se considera el ciclo de vida completo de la luminaria, desde la extracción del material y su transporte pasando por los procesos de fabricación, producción, distribución y uso, hasta llegar a su utilización, mantenimiento y tratamiento de los residuos generados en cada uno de los procesos anteriormente citados.

-Tecnología LED:

El hecho de emplear la tecnología led como método de iluminación contribuye a reducir drásticamente el impacto ambiental de una luminaria. La no utilización de sustancias peligrosas, una vida útil mínima de 50000 h y una eficacia alrededor de los 100 lm/W garantizan un ahorro energético inigualable.

-Conceptos de diseño:

La contaminación lumínica es otro tipo de contaminación existente y por normativa es obligatorio reducirla de manera que el flujo hemisférico superior proporcionado ha de ser mínimo y disperso. Además, al tener una vida útil elevada es necesario que ninguno de los componentes que forman parte de la luminaria la límite.

Es por esta razón que se diseña pensando en la reemplazabilidad de los componentes, este hecho también repercute en el ahorro económico ya que no se tiene que comprar algo que se puede seguir utilizando.

-Uso de materiales:

Se utilizan materiales con un impacto ambiental bajo, la utilización de materiales metálicos representa un 80% de la totalidad de la luminaria por lo que se puede reciclar fácilmente, sobretodo el aluminio ya que el acero, al estar pintado, es un proceso más costoso pero también posible.

La utilización de plástico es reducida y sólo se emplea para obtener una luz difusa y una buena protección de la parte eléctrica por lo que se puede decir que es por necesidad. El coste de materiales y fabricación es reducido, teniendo siempre presente conceptos como el

aprovechamiento del material, la simplicidad en el mecanizado, la reducción del número de piezas y operaciones y la selección del proceso de fabricación óptimo.

9.1. Impacto fabricación parte mecánica

El programa CAD utilizado para el diseño de la luminaria incorpora un módulo que permite saber el impacto que produce la fabricación de las piezas. Para valorar este impacto se realizan los informes adjuntos en el anexo A8 donde se pueden ver las cifras exactas producidas de dióxidos contaminantes y energía necesaria para la fabricación, a continuación se explica la metodología y los resultados obtenidos.

-Conjunto carcasa:

Para el conjunto carcasa se estudia el impacto producido en caso de realizar su fabricación mediante fundición o con el proceso real utilizado de soldadura.

Según el estudio A8.1 se obtiene que el proceso de fundición resulta mucho más contaminante, sobretodo en carbono y energía. Sin embargo resulta ligeramente más rentable y se desperdicia menos material.

-Conjunto difusor:

Se compara la fabricación del conjunto según el material empleado, el material real es policarbonato y el comparado es el vidrio. Los resultados obtenidos según el informe A8.2 reflejan que es mejor la utilización de vidrio en cuanto a la huella de carbono producida y la energía utilizada pero produce más efecto invernadero y eutrofización del agua.

Si tenemos en cuenta que para el vidrio sería necesario incluir la energía producida por el temple esta mejora en cuanto a material se vería reducida. Según las propiedades del material, la funcionalidad del conjunto y la dificultad de fabricación en cristal para esta geometría, no es el material apropiado además de resultar más económico el material y el proceso seleccionado.

-Conjunto soporte:

El conjunto soporte necesariamente debe fabricarse en aluminio para gestionar la disipación de calor en la luminaria. El diseño final conseguido es difícilmente modificable ya que se considera el óptimo por lo que se analiza el impacto real generado por la fabricación mediante mecanizado y doblado de dichas piezas.

Según el informe A8.3 se ve como la pieza de mayor impacto es la del soporte tira de led seguida de la pieza unión, esto se debe a que son las piezas con mayor número de operaciones a realizar. Prestando atención a los diagramas circulares vemos como el peso porcentual predominante recae en la extracción del material, siendo la contaminación por fabricación inferior al 10%.

-Conjunto base:

En este conjunto se estudian sus dos piezas de manera independiente, primero el embellecedor y posteriormente la pieza base. Básicamente consiste en la comparación entre dos procesos de fabricación distintos para la misma pieza además de un posible cambio de material para la pieza embellecedor.

-Embellecedor:

Respecto al embellecedor se compara la utilización de dos materiales distintos, uno es el acero inoxidable 316L, material real de la pieza, y la otra opción es la posibilidad de sustituirlo por una aleación de aluminio como la 6060.

Viendo los resultados del estudio (A8.4) se observa como cuatro de los parámetros estudiados mejoran respecto al modelo de referencia (pieza real) por lo que es recomendable cambiar de material ya que realmente la estética del producto se mantendrá por el hecho de ir pintado.

Esto se debe a que el aluminio, al tener unas propiedades mecánicas inferiores, facilita el proceso de conformado de la chapa y como consecuencia una menor energía. Además se considera cambiar el método de fabricación empleado (embutición) por el de repulsado, al utilizar aluminio el molde para el repulsado se puede hacer de madera por lo que el coste del molde utilizado se reduce considerablemente.

-Pieza base:

En el análisis de la pieza base se comparan diferentes métodos de fabricación para la pieza ya que esta solo puede ser de aluminio. Los procesos comparados son el de torneado y la fundición mediante moldeo en arena.

Viendo el informe A8.5 se observa como el impacto ambiental de la fabricación mediante mecanizado es un 20-30% mayor que si se realizara la fundición. Por el contrario se matiza diciendo que el software no incorpora la posibilidad de establecer varias operaciones en una misma pieza, por lo que no se ajusta del todo a la realidad pero es una buena aproximación.

Además la diferencia más importante obtenida recae en el impacto financiero del material, éste es muy superior en la mecanización de la pieza que en la fundición por lo que es evidente que el proceso de fabricación por moldeo en arena es el proceso óptimo para fabricar esta pieza a pesar de requerir operaciones posteriores de acabado.

9.1.1. Optimización de materiales y tasa de aprovechamiento

La filosofía de la empresa marca los diseños siempre pensando en la optimización, por ejemplo, en el presente proyecto los semiproductos para los dos modelos son exactamente los mismos además, el diseño en si es igual a excepción de cuatro piezas que solo se diferencian por su longitud, carcasa, difusor, soporte tira y reflector.

El hecho de optimizar el diseño de una familia de productos facilita su gestión y lo que es más importante desde el punto de vista de la empresa, todas las optimizaciones se traducen en una reducción de costes, costes en materiales, costes de proveedores, costes de montajes, costes de fabricación y aprovisionamiento...

De esta manera se evitan desdoblamientos innecesarios y como consecuencia, el impacto ambiental se ve reducido por el hecho de ahorrar energía en fabricación y logística. Cuando se compran grandes lotes de piezas, componentes o semiproductos los costes unitarios son menores que para lotes pequeños, esto se debe a que al proveedor le sale más rentable su fabricación porque sus gastos energéticos son menores.

Un ejemplo más claro, se necesitan 10 metros de barra, comprar esa barra en un lote genera menos impacto ambiental que comprar 10 veces un metro de barra cada cierto tiempo.

La generación de desperdicios por fabricación es otro factor contraproducente para el medioambiente. La tabla 9.1 es un resumen del aprovechamiento total del material, las tablas 9.2 y 9.3 detallan los aprovechamientos por semiproducto y fabricación respectivamente.

TABLA 9.1: Tasa de aprovechamiento de material total

Semiproducto	Longitud (mm)	Material	Piezas	%A semip.	%A fabr.	%A total
tubo Ø104x2	6020	AISI 316L	tubo carcasa 400	98,68	83,63	82,53
			tubo carcasa 600	1,7	79,98	79,18
tubo Ø100x2	10000	PC	tubo difusor 400	3,5	99,73	96,98
			tubo difusor 600	1,4	99,83	91,68
barra Ø100	3110	AL 6082	unión soporte	1070,6	72,25	71,88
tubo Ø10x3	6000	AL 6060	varilla soporte	154,8	94,89	94,13

TABLA 9.2: Tasa de aprovechamiento de material por semiproducto

Semiproducto	Longitud (mm)	Material	Piezas	Long. pieza (mm)	uds. / sem.	%A _{semip.}
tubo Ø104x2	6020	AISI 316L	tubo carcasa 400	396	15	98,68
			tubo carcasa 600	596	10	1,7
tubo Ø100x2	10000	PC	tubo difusor 400	374	13	3,5
			tubo difusor 600	574	8	1,4
barra Ø100	3110	AL 6082	unión soporte	17	182	1070,6
tubo Ø10x3	6000	AL 6060	varilla soporte	62	96	154,8

Dónde:

$$\% A_{semipr.} = \frac{L_{pieza} \cdot n_{piezas}^o}{L_{semipr.}} \quad (\text{Ec. 9.1})$$

TABLA 9.3: Tasa de aprovechamiento de material por fabricación

	peso inicial (g)	peso final (g)	%A material
TUBO CARCASA 400	2016,6	1686,52	83,63
TUBO CARCASA 600	3066,05	2451,44	79,95
TUBO DIFUSOR 400	271,12	270,39	99,73
TUBO DIFUSOR 600	420,6	419,87	99,83
UNIÓN SOPORTE	360,5	260,46	72,25
VARILLA SOPORTE	10,96	10,4	94,89

Dónde:

$$\% A_{fabr.} = \frac{m_{final}}{m_{inicial}} \quad (\text{Ec. 9.2})$$

9.2. Problemas derivados de la utilización en condiciones normales

Las piezas de plástico pueden resultar un inconveniente con el paso del tiempo, este es el caso del difusor ya que está expuesto al envejecimiento y en condiciones de utilización excesivamente duras u otras influencias pueden provocar los problemas mostrados en la figura 9.1.

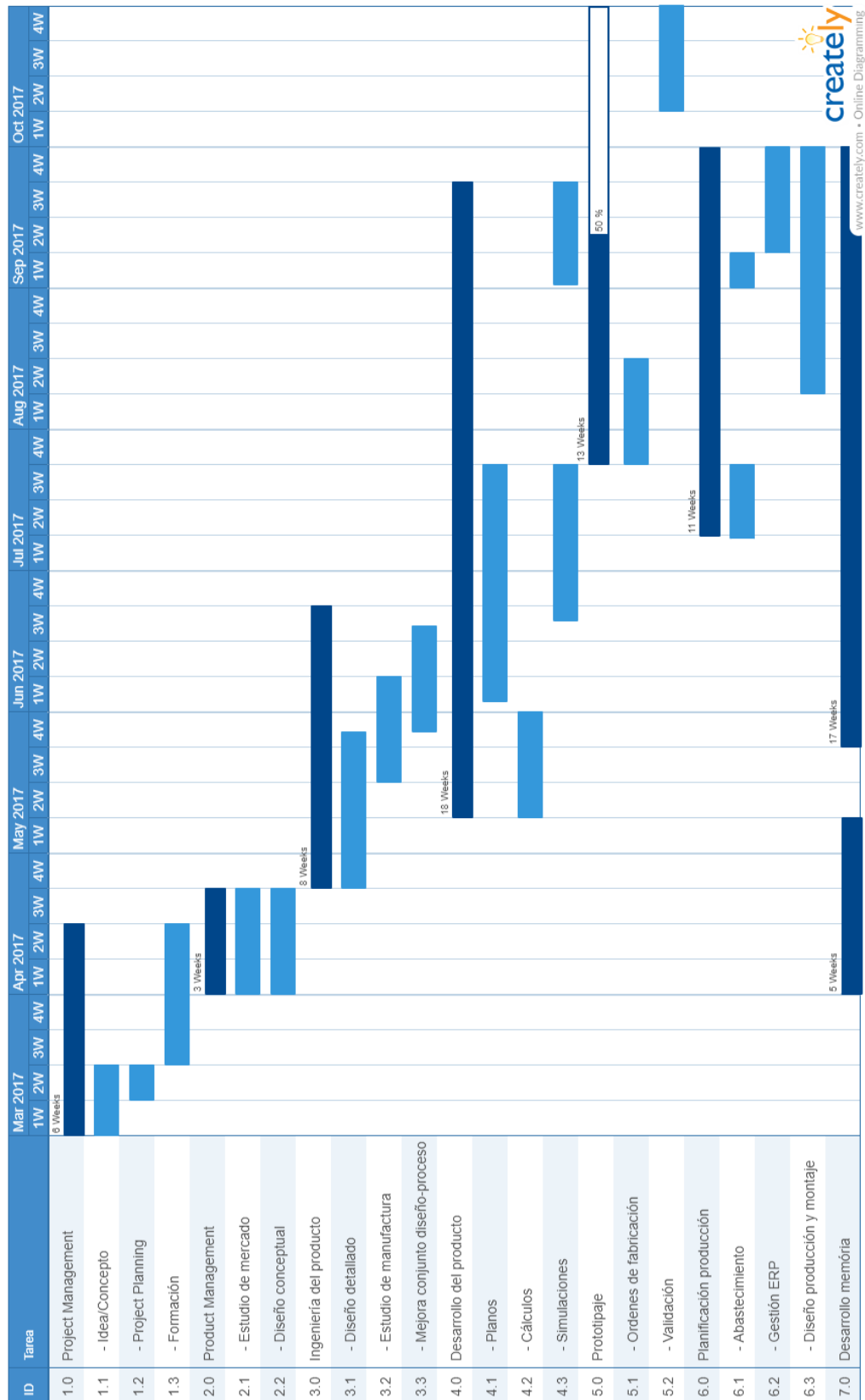
Influencia perjudicial	Causas	Efectos*
Temperatura de funcionamiento elevada	Tensión de funcionamiento demasiado elevada	Deformación
	Temperatura ambiente muy alta	Fragilidad
	Montaje incorrecto	Decoloración
Radiación U.V.	Lámparas de vapor de mercurio de alta presión con excesiva radiación U.V.	Amarilleamiento
	Lámparas germicidas	Fragilidad
Sustancias corrosivas	Reblandecedores (plastificantes)	Aparición de fisuras
	Limpieza incorrecta (con desinfectantes)	Reducción de la resistencia Deterioro de la superficie externa
* Cada causa puede producir todos los efectos		

Figura 9.1. Problemas asociados al uso de materiales plásticos (Fuente: norma UNE-EN 60598-1)

Por otro lado también hay que tener en cuenta el reciclaje de los componentes de compra externa, al ser todos componentes que cumplen el marcado CE se da por válida su sostenibilidad ya que este marcado garantiza todo aquello relativo a la sostenibilidad del componente, incluido su reciclaje.

10. PLANIFICACIÓN

A continuación se adjunta el diagrama de Gantt correspondiente a la planificación temporal del proyecto de final de grado, se destaca que esto es tan solo una parte del proyecto real realizado en Vecxa Lighting ya que en los próximos meses se realizará el prototipaje, la mejora del diseño y la fabricación del producto final.



11. CONCLUSIONES

En primer lugar se destaca el trabajo tan laborioso no visible que existe detrás del lanzamiento de un producto, el hecho de realizar este proyecto me ha permitido vivirlo en primera persona y obtener una visión más clara de todos los procedimientos que se deben seguir.

Por otro lado se ha visto la gran importancia que tiene la comunicación entre los diferentes departamentos de la empresa y, sobre todo, la necesidad de trabajar con un orden establecido para facilitar así toda la gestión del producto.

Respecto a los contenidos del proyecto es evidente que se pueden mejorar muchas cosas, como por ejemplo optimizar el número de piezas y componentes usados, reducir costes de fabricación o realizar unas simulaciones más reales. Sin embargo no hay que olvidar que es un trabajo solamente enfocado a un diseño inicial a pesar de haber sido validado para poder ir más allá, también se destaca el hecho de que el producto ha sido desarrollado por completo por una persona con poca experiencia en el sector y con unos límites impuestos por la empresa en cuanto a la realización de inversiones materiales a corto plazo cosa que influye directamente al proceso de fabricación, además aún no se han podido detectar los fallos reales que seguramente aparezcan al montar el prototipo.

La fase de diseño ha sido la más dificultosa debido a que cada vez que se aplica un cambio es necesario comprobar la influencia del mismo y, la mayoría de las veces, se requiere un rediseño cosa que ralentiza el proceso. Además es un trabajo que requiere de plena concentración ya que son muchos los factores a tener en cuenta y cada vez que se pasa algo por alto, lo más probable es que tengas que volver al punto de partida.

Por otro lado también se ha tenido alguna dificultad con las simulaciones ya que requieren de un conocimiento más avanzado, tanto conceptualmente como de software, además de herramientas más potentes para el cálculo iterativo mediante elementos finitos. A pesar de que las aproximaciones se consideran ajustadas a la realidad, un problema en el último momento relacionado con la pérdida de algunos datos ha influido notablemente a la calidad de dichas simulaciones.

Finalmente, como reflexión personal, mi objetivo principal era reflejar los diferentes conocimientos adquiridos a lo largo de la realización del grado pero, sobre todo, formarme acorde a las necesidades propias del sector laboral al que pertenezco y ganar esos conocimientos que solamente se adquieren con la experiencia del día a día por lo que se cumplen ampliamente mis expectativas al haber obtenido esa visión ingenieril necesaria para seguir creciendo.

12. BIBLIOGRAFIA

1. Sergio Gómez González. *Solidworks Práctico II, complementos*. 1ª Ed. Barcelona: Marcobombo, 2012. ISBN 978-84-267-1883-9.
2. Paul A. Tipler. *Física para la ciencia y la tecnología*. 4ª edición Editorial Reverté, 2001. ISBN 84-291-4384-X.
3. Callister, W.D. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Editorial Reverté, 1998. ISBN 978-84-291-7252-2.
4. Sergio Gómez González. *Solidworks Simulation*. Ed. Ra-Ma, 2010. ISBN 978-84-9964-006-8.
5. Ashby, M.F. *Materials Selection in Mechanical Design* [en línea]. 3rd Ed. Elsevier, 2005. ISBN 0750661682. DOI 10.1016/B978-1-85617-663-7.00011-4. Disponible en: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1472.
6. Groover, M.P. *Fundamentos de Manufatura Moderna*. Mc Graw Hill, 2007. ISBN 978-970-10-6240-1.
7. Colombo, E. Luz , Color y Visión. En: *Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente* [en línea]. 2006, p. 1-34. Disponible en: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/>.
8. Company, G. Ten Things You Should Know About LED. En: *Poliquin Group Articles* [en línea]. 2015, p. 1-16. Disponible en: http://www.poliquingroup.com/ArticlesMultimedia/Articles/Article/898/Ten_Things_You_Should_Know_About_Tempo_Training.aspx.
9. Serope Kalpakjian, S.R.S. *Manufatura, ingeniería y tecnología*. 5ª edición. Ed. Pearson, 2002. ISBN 9789702610267.
10. C&G CARANDINI, ERCO ILUMINACION, GRUPO LLEDO S.A., AIRFAL, OSRAM S.A., Z. Guía sobre Tecnología LED en el alumbrado. En: *Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid* [en línea]. 2015, p. 19-64. DOI M-16865-2015. Disponible en: www.fenercom.com.
11. Mangonon, P.L. *Ciencia de materiales, selección y diseño*. 1ª. Prentice Hall, 2001. ISBN 9780521191333. DOI 10: 0-8400-5444-0.
12. José Ignacio Garreta, J.L. y L.B. Iluminación LED: eficiencia, eficacia y rendimiento. En: *CTI*. 2015, p. 21.

13. Sanchís, E. y Ejea, J.B. Introducción a la radiometría y fotometría. En: . 2010, p. 1-22. 14. Blasco Espinosa, P.Á. *Iluminación* [en línea]. 2016. UPV, EPSA, Departamento de ingeniería eléctrica, 2016. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/75442>.
15. Sanchís, E. y Ejea, J.B. El diodo de emisión de luz. En: . 2014, p. 37. 16. Marcos, F. de. *Tecnología práctica de embutición* [en línea]. Madrid: River, 1963. Disponible en: http://cataleg.upc.edu/record=b1023102~S1*cat.
17. Jiménez Cortés, C. *Luz, lámparas y luminarias* [en línea]. Barcelona: Ediciones CEAC, 1997. ISBN 8432960500. Disponible en: http://cataleg.upc.edu/record=b1156614~S1*cat.
18. Del Río, Jesús. *Conformación plástica de materiales metálicos (en frío y en caliente): forja, laminación, estirado, estampación, extrusión, embutición* [en línea]. Madrid: CiE Dossat 2000, 2005. ISBN 8496437094. Disponible en: http://cataleg.upc.edu/record=b1323958~S1*cat.

Nota legal: Tanto las imágenes como la parte teórica contenida en esta memoria han sido recogidas de fuentes públicas y, en algún caso, anónimas de Internet y son en todo caso propiedad de sus autores.

